

太白山高山带 2 000 多年*以来气候变化 与林线的响应

刘鸿雁 王红亚 崔海亭

(北京大学环境学院地表过程分析与模拟教育部重点实验室,北京 100871)

摘要 本文通过太白山东佛爷池高山湖泊沉积物粒度、总有机碳(TOC)、磁化率、孢粉和植物残体分析结果,结合现代高山林线的植被格局分析,探讨了太白山 2 300 年来的气候变化过程以及高山林线对气候变化的响应机制,结果表明:太白山 2 000 多年以来的气候变化过程划分为以下几个时期:2 250~1 800 aB. P., 1 370~650 aB. P. 以及 200 aB. P. 以后的暖湿期;1 800~1 530 aB. P. 的冷湿期;1 530~1 370 aB. P. 的暖干期以及 650~200 aB. P. 的冷干期。温度变化过程与历史文献资料得出的平原地区的变化过程基本一致。

关键词 高山林线 气候变化 太白山

高山林线对气候变化的响应主要包括 3 个方面的过程,一是林线内部植被格局的变化,二是林线所处海拔高度的波动,三是林线组成树种的变化。探讨高山林线对气候变化的响应需要寻找两个方面的古生态学证据,一是气候变化的证据,二是林线响应的证据。林线响应的证据包括:1) 孢粉证据: M. S. Kearney 等^[1]在加拿大落基山高山林线演化的研究中发现, *Abies/ Pinus* 孢粉的比值在林线附近的变化趋势表现为在林线以下随海拔高度的升高而上升,在林线以上则下降。根据林线附近沉积物中这一比值的变化过程,可以推断林线所在海拔高度的推移;2) 古木材证据:除了沉积物中的亚化石状态的木材外,枯立木也是重要的证据。在高山带,由于温度低,木材的腐烂和分解需要的时间往往很长,可以达到 400~600 年,可以用来反映林线内部植被格局的变化^[2]。通过树轮交叉定年和¹⁴C 测年相结合,可以确定枯立木的年龄;3) 植物残体证据:沉积物中保存的植物残体,如树枝、针叶和果实等也是推断过去生态系统组成和位置变化的重要依据。

太白山海拔 3 767.2 m,是秦岭主峰,地处暖温带和亚热带的分界线。童国榜等仅据孢粉证据推断了这一地区近 1 000 年来的植被和气候变化^[3,4],其研究工作中将冷杉属(*Abies*)和落叶松属(*Larix*)两类性质不同的孢粉类群合并,不能反映林线组成树种的变化过程。Liu Hongyan 等分析了太白山植被-气候关系及落叶松林线的形成机制,但对气候变化的过程及高山林线的敏感性没有涉及^[5]。本文通过高山湖泊沉积物证据,推断太白山 2 300 年来的气候变化过程及相应的高山林线的位置和组成树种的变化,并与平原地区气候变化过程进行了对比分析。

* 第一作者简介:刘鸿雁 男 35 岁 副教授 生态学专业 E-mail: lhy@urban.pku.edu.cn
国家自然科学基金项目(批准号:49871080)资助
2003-01-13 收稿,2003-02-26 收修改稿

1 研究方法

在太白山南坡从山顶至郁闭林内,海拔每下降 10m 定一条基线,每条基线上选择不同的地貌部位进行植物群落调查。

在太白山南坡海拔 3 410m 的东佛爷池采集湖泊沉积物剖面。剖面深度为 202cm,野外每隔 4cm 取一个样。测年工作由德国 Kiel 大学 Leibniz 测年与同位素研究实验室用 AMS ^{14}C 方法完成,测年对象为提取的孢粉样品;粒度分析在中国科学院南京地理与湖泊研究所完成,采用该所研制的 SFYB1 型音波调频振动式半自动筛分粒度仪及日本生产的 SKC-200 型光透式粒度分布测定仪;总有机碳(TOC)分析在中国科学院地理科学与资源研究所完成,采用的方法为电热板加热-重铬酸钾容量法;磁化率分析在丹麦 Aarhus 大学用 Bartington 公司生产的 MS2 型磁化率仪完成。粒度、TOC 和磁化率 3 项分析的样品数均为 51 个。

孢粉分析在德国汉诺威大学地植物学研究所完成,采用标准分析方法^[6]。每一样品至少统计 500 粒孢粉。测年结果(见下文)表明,该剖面 60cm 以下的沉积速率约为 20cm/100a,而在 60cm 以上则为 5cm/100a,为了整个剖面保持一致的分辨率,60cm 以下每隔 20cm(亦即每 5 个样品)分析一个样品,共分析孢粉样品 23 个。

2 现代植被格局与表土花粉

太白山植被的垂直带性明显。在南坡,从低海拔到高海拔依次分布着栎(*Quercus*)林(海拔 780~2 300m)、桦林(海拔 2 300~2 730m)、冷杉林(海拔 2 730~3 200m)、太白红杉(*Larix chinensis*)林(海拔 3 200~3 400m)和高山、亚高山灌丛与草甸(海拔 >3 400m)。太白山南坡在海拔 3 600m 左右为树线,在海拔 3 400m 附近为郁闭林上限。所以,海拔 3 400~3 600m 之间是林线的范围。

太白山南坡高山林线中所有“树岛”和孤立木下的草本植物主要有太白韭(*Allium pratii*)、大叶碎米荠(*Cardamine macrophylla*)、银莲花(*Anemone* sp.)、卷耳(*Cerastium arvense*)、羊茅(*Festuca* sp.)、瓣蕊唐松草(*Thalictrum petaloideum*)、五脉绿绒蒿(*Meconopsis quintuplinervia*)等,灌木种类有头花杜鹃(*Rhododendron capitatum*)、金背杜鹃(*Rh. przewalskii*)、高山绣线菊(*Spiraea alpina*)、杯腺柳(*Salix cupularis*)、刚毛忍冬(*Lonicera hispida*),与亚高山灌丛及亚高山草甸下的灌木和草本植物组成相似,而与郁闭林下存在明显的区别。此外,乔木生长的土壤厚度一般在 20cm 以内。因此可以认为,当前的高山林线是气候变暖以后太白红杉向高海拔迁移的结果。

从湖泊周边的表土花粉样品的分析结果可以看出,表土花粉组合中以松属(*Pinus*)和莎草科(Cyperaceae)的花粉占据优势,松属的花粉含量达到 22%,莎草科的花粉含量达到 21%,其次为桦属(*Betula*)和禾本科(Gramineae),分别为 9.6%和 8.6%,此外还有蓼科(Polygonaceae)、蒿属(*Artemisia*)、铁杉属(*Tsuga*)、冷杉属、云杉属(*Picea*)、落叶松属(*Larix*)、榆属(*Ulmus*)、栎属、赤杨属(*Alnus*)、榛属(*Corylus*)、木樨科(Oleaceae)、椴属(*Tilia*)、蔷薇属(*Rosa*)、唐松草属(*Thalictrum*)、鹿蹄草属(*Pyrola*)、毛茛属(*Ranunculus*)、菊科(Compositae)、藜科(Chenopodiaceae)、石竹科(Caryophyllaceae)花粉和一些蕨类孢子。表土花粉总

体上反映了高山带植被与花粉传播的特点。

3 剖面特征与气候代用指标

3.1 剖面描述

剖面采自太白山海拔 3 410m 处的东佛爷池,原为一冰川湖,从 20 世纪 90 年代中期开始逐渐变干。剖面特征自上而下描述如下:

1 灰黑色粉砂质淤泥	0 ~ 12cm
2 深黄色粉砂质中砂	12 ~ 36cm
3 灰黄色黏土质粉砂	36 ~ 64cm
4 灰黑色粉砂质淤泥,含大量植物根系,在 75cm 深处发现埋藏的树枝	64 ~ 76cm
5 灰黄色粉砂质淤泥,上面含少量的植物根系和孔洞,在 80cm 深处发现埋藏的树枝	76 ~ 140cm
6 灰黑色粉砂质淤泥,有腐殖质气味	140 ~ 180cm
7 浅灰色粉砂质淤泥,有腐殖质气味	180 ~ 202cm

3.2 年代与沉积速率

本研究中共测两个年代样品,并用“CALIB rev 4.3”软件校正为日历年。60~61cm 层位的¹⁴C 测年为 1 530 ±120 aB. P.,校正后的日历年为 1 530~1 310 aB. P. (以 1950 年为基准,下同。1, $P = 68.3\%$); 198~199cm 层位的¹⁴C 测年为 2 240 ±90 aB. P.,校正后的日历年为 2 330~2 150 aB. P. (1, $P = 65.6\%$)¹⁾。童国榜等^[4]在东佛爷池采集过一个 50cm 深的沉积剖面,共测得两个样品的¹⁴C 年龄,13~20cm 深处的年龄为 308 ±69 aB. P.,44~48cm 深处的年龄为 940 ±200 aB. P.。因取样点的具体位置可能不同,本文引用作为参考,不作为计算用。在本文的结果和讨论部分,均使用日历年。

从该剖面沉积物的特征以及¹⁴C 年龄与深度的关系可以看出,自 60~65cm 往上,沉积物性质发生明显的变化,粗颗粒物增加,沉积速率明显变慢。在这一深度以上和以下依据沉积速率,分别进行点间插值处理推断剖面其他样品的年龄,所测样品的年代取值为其日历年的中值。

3.3 粒度、总有机碳和磁化率的变化

图 1 是东佛爷池剖面中粒径 > 0.063mm 的砂百分含量、总有机碳 (TOC) 百分含量和低频磁化率 (χ_{lf}) 随深度的变化过程。从图中可以看出,砂含量和总有机碳含量的变化存在着负相关。有两个砂含量的峰值期,一个在 20cm,砂含量为 70% 左右,其中粗砂(粒径 0.5~2mm)含量约 35%,中砂(粒径 0.25~0.5mm)含量约 20%,细砂(0.063~0.25mm)含量约 15%。另一个在 70cm,砂含量达到 60% 左右,其中粗砂含量约 10%,中砂和细砂含量各约 25%。

1) 在刘鸿雁等著《第四纪生态学与全球变化》(科学出版社,2002)一书中,相关描述依据的是唐元新等的测年结果,后经北京大学 AMS 实验室用同样的沉积物测定和德国 Leibniz 实验室用沉积物中提取的孢粉测定,均与原来的年代结果存在明显的区别,在此特此说明并更正

磁化率自下而上的变化过程如下:在 30cm 以下,磁化率存在小的波动,往上,磁化率呈升高的趋势,在 16cm 处磁化率达到峰值。这一峰值与砂含量在 20cm 处的峰值基本对应,但砂含量的另一个峰值则在磁化率曲线上没有对应的峰值出现。

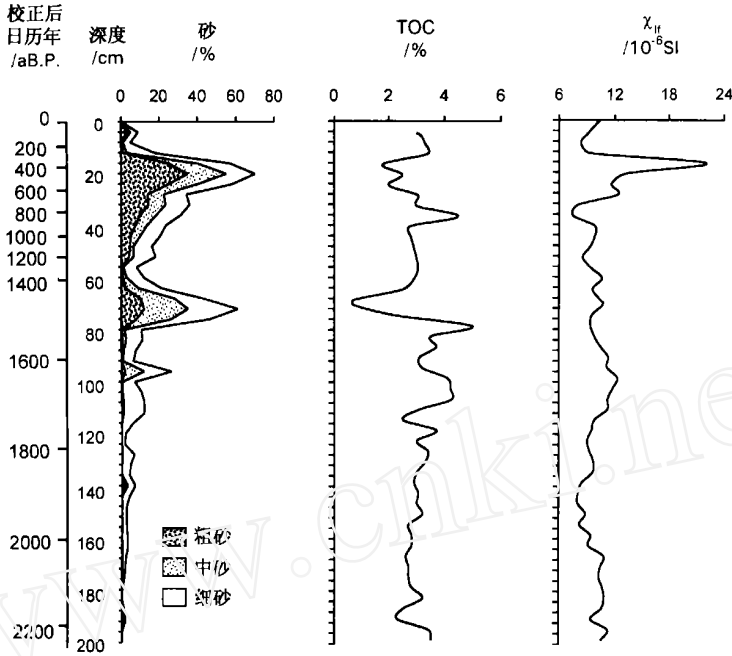


图 1 东佛爷池剖面砂含量、总有机碳 (TOC) 含量和低频磁化率的变化图式
 Fig. 1 Diagrams of sand, total organic carbon (TOC) and low frequency magnetism (χ_{lf}) of the sequence from Dongfoyechi

4 孢粉证据与植被演化

4.1 孢粉分带描述

图 2 为东佛爷池剖面孢粉图谱。从下至上由老到新整个剖面可以分为 5 个孢粉带,各孢粉带的特征如下:

孢粉带 (200~120cm) 松属的花粉含量占 27% 左右,铁杉属花粉含量占 7% 左右,冷杉属花粉在 200cm 处很低,但在 180cm 处迅速升至 10% 左右,阔叶树的花粉以桦属为主,还有一定数量的栎属、榆属、核桃楸属。草本植物花粉含量为 30%~40%,以莎草科和蒿属为主。蕨类孢子所占百分比仅为 2% 左右。

孢粉带 (120~56cm) 松属和铁杉属花粉较上一阶段略有增加,云杉和冷杉属的花粉总量降至 3% 左右,桦属花粉含量下降。120~80cm 落叶松不出现;80~56cm 桦花粉含量低,落叶松花粉出现。莎草科花粉平均含量由上一阶段的 11% 增加到 16%,而蒿属

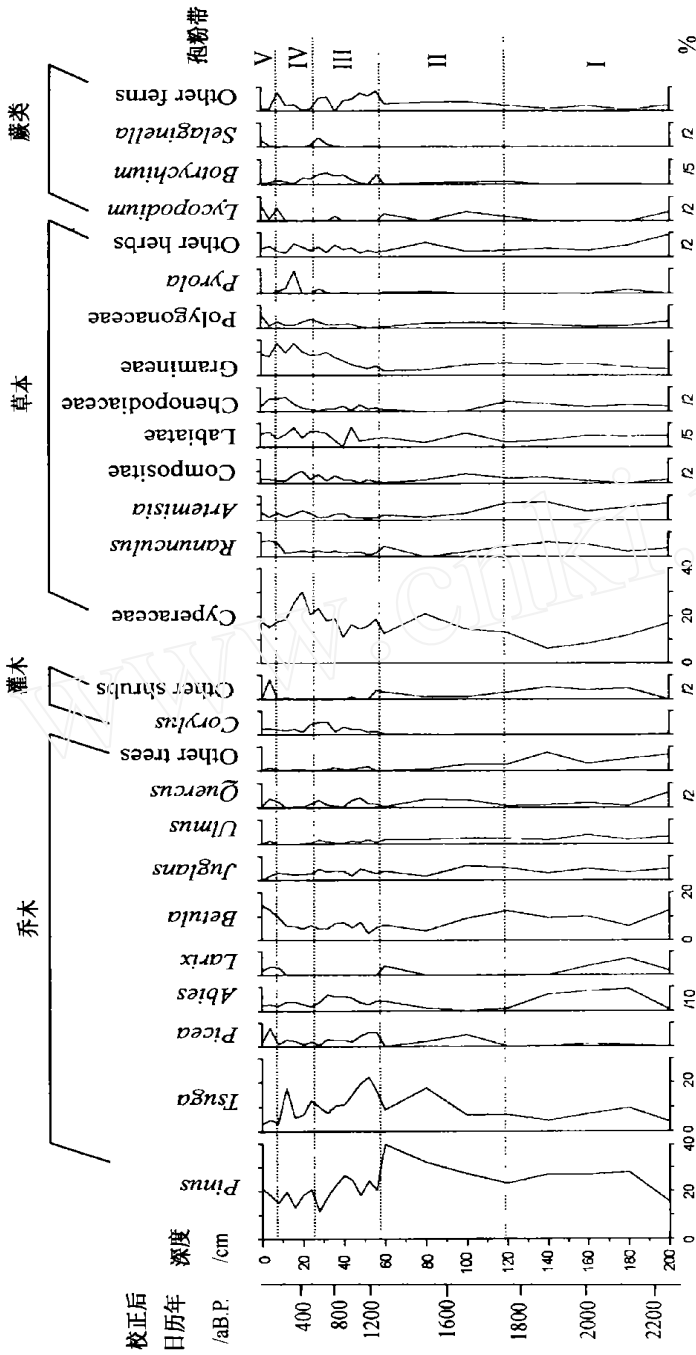


图 2 东佛爷池剖面孢粉百分比图式
 Fig. 2 Percentage pollen diagrams of the sequence from Longfeyechi

花粉则在 120cm 左右迅速减少。与上一阶段相比,蕨类孢子的量明显增加。

孢粉带 (56~24cm) 松属的花粉含量迅速降至 20%左右,铁杉属花粉在上升到 22%之后迅速降至 7.5%。这一阶段为云杉属和冷杉属花粉的峰值期,总含量在 10%左右。与上一阶段相比,桦等落叶阔叶树的花粉含量变化较小,灌木中榛属、草本植物花粉中禾本科花粉含量明显增加。

孢粉带 (24~8cm) 这一阶段松属和铁杉属花粉的含量基本保持稳定,但云杉和冷杉属的花粉总含量减少至 4%左右。与上一阶段相比,藜科和禾本科的花粉含量增加明显。

孢粉带 (8~0cm) 这一阶段松属的花粉含量基本保持不变,铁杉属花粉含量迅速下降至 3.5%左右。云杉花粉含量增加后复又下降。桦属的花粉含量增加。灌木花粉含量出现峰值。

4.2 孢粉证据反映的植被演化过程

孢粉证据反映的植被演化过程可以概括如下:

(1) 约 2 240~1 770 aB. P. 冷杉、云杉分布的海拔比现在高。落叶松可能成为林线的主要组成树种。由于植被带上移,桦林分布的海拔高度较现代高,因此,孢粉组合中落叶阔叶树,尤其是桦属的含量增加。

(2) 约 1 770~1 320 aB. P. 冷杉、云杉带往下迁移,落叶阔叶林带也向下迁移,高山、亚高山灌丛和草甸较上一阶段发育。前期,落叶松林减少甚至可能消失,后期复又出现。

(3) 约 1 320~560 aB. P. 冷杉、云杉带再次往上迁移。由于落叶阔叶林分布较高,林下灌木、草本植物和蕨类的孢粉可以在风力作用下大量到达高海拔地区,这一现象从榛属和禾本科的高花粉含量可以得到证明。

(4) 约 560~200 aB. P. 冷杉、云杉带往下迁移,落叶阔叶林带也向下迁移,高山、亚高山灌丛和草甸较上一阶段发育,表现为莎草科花粉含量明显增加。

(5) 约 200 aB. P. 至今 这一时期大量人口进入秦岭南坡,低海拔地区森林被大量砍伐^[7],铁杉属花粉含量急剧下降。相反,云杉花粉百分比含量出现峰值,可能与位于高海拔地区破坏程度较轻有关。

5 东佛爷池剖面揭示的气候变化过程和林线的响应

5.1 气候和植被代用资料之间的关系

剖面所在位置为高山林线的范围,位于冷杉林带以上。表土花粉的分析结果也表明,冷杉属花粉百分含量在冷杉林带接近 50%,而在太白红杉林带和高山、亚高山灌丛和草甸带则下降到 5%以下^[4]。因此剖面中冷杉和云杉花粉含量的波动可以反映冷杉和云杉林的上升和下降。

当前太白山的最大降水高度在海拔 2 600m 左右,而在最大降水高度以上,湿度条件

随海拔高度的上升而下降。与冷杉属和云杉属乔木相比, 落叶松属乔木耐旱、喜光。Liu Hongyan 等^[5]利用温暖指数 (WI) 和湿润指数 (HI) 探讨了中国东部暖温带山地的植被 - 气候关系。

$$WI = \sum_{i=1}^n (t_i - 5) \quad (1)$$

$$HI = \sum_{i=1}^n (p_i/2 - t_i) \quad (2)$$

式中 t_i ——月平均温度超过 5 以上的第 i 个月的均温

p_i ——月平均温度超过 5 以上第 i 个月的降水量^[8]

n ——平均温度大于 5 的月数

高山林线的分布的海拔高度主要受温度条件控制, 一般以温暖指数 15 月为上限。冷杉/云杉林线与落叶松林线的分化则取决于温度和湿度条件的配置, 如果某一海拔高度上温度条件达到气候意义上的林线, 而该海拔高度上湿度条件低 (湿润指数 < 210), 则在冷杉/云杉林带以上出现落叶松林带, 落叶松成为林线的组成树种; 如果林线附近湿度条件高 (湿润指数 > 210), 则冷杉/云杉成为林线的组成树种^[5, 8]。

从图 1 可以看出在东佛爷池剖面中, 砂含量与云、冷杉的花粉含量有较好的负相关, 说明它们受到共同的环境因子驱动。高山湖泊沉积物中有机碳主要是外源的, TOC 能较好地反映集水区内的生物量状况。而 TOC 与砂含量, 特别是与粗砂含量之间有良好的负相关关系, 说明地表植被状况是湖泊沉积物粒度组成的决定性因素。湖泊沉积物中以外源磁性矿物占绝对优势, 而原生亚铁组分主要出现于粗粒度级中^[9], 这一规律可以解释本剖面中磁化率与粗砂含量有良好的对应关系, 但磁化率除受岩石中磁性矿物含量的影响外, 还受到多重因素的影响, 可以作为辅助证据。因此, 可以根据砂含量、TOC、磁化率、云杉、冷杉和落叶松花粉含量, 综合起来解释太白山高山带气候变化和林线的响应。

5.2 运用代用资料推断气候变化与林线的响应

图 3 是各气候代用指标和具有指示意义的孢粉类型随时间的变化过程, 可以划分为 6 个气候变化阶段:

(1) 2 240 ~ 1 800 aB. P. 落叶松花粉含量与云、冷杉花粉含量均处于峰值, 冷杉/云杉林带和落叶松林带均向高海拔推移, 落叶松成为林线树种, 说明此时气候偏暖湿。这一阶段地表生物量高, 虽然冲刷作用强, 但进入湖泊的物质以细颗粒为主, 磁化率偏低。

(2) 1 800 ~ 1 530 aB. P. 云、冷杉花粉含量处于低谷, 落叶松花粉不出现, 说明林线海拔下降, 云、冷杉成为林线的组成树种。和上一阶段相比, 砂含量略有增加, TOC 和磁化率的变化较小。推断这一阶段气候转冷, 但湿度条件仍然较好, 地表生物量高, 进入湖泊的物质仍以细颗粒为主, 磁化率变化不大。

(3) 1 530 ~ 1 370 aB. P. 与上一阶段相比, 虽然云、冷杉花粉含量仍处于低谷, 但落叶松花粉出现, 推断这一阶段气候偏暖干, 林线海拔较上一阶段上升, 树种为落叶松。这一时期地表生物量低, 但物理风化作用强, 进入湖中的物质以细砂和中砂为主, 而粗砂含量少, 磁化率的变化较小。

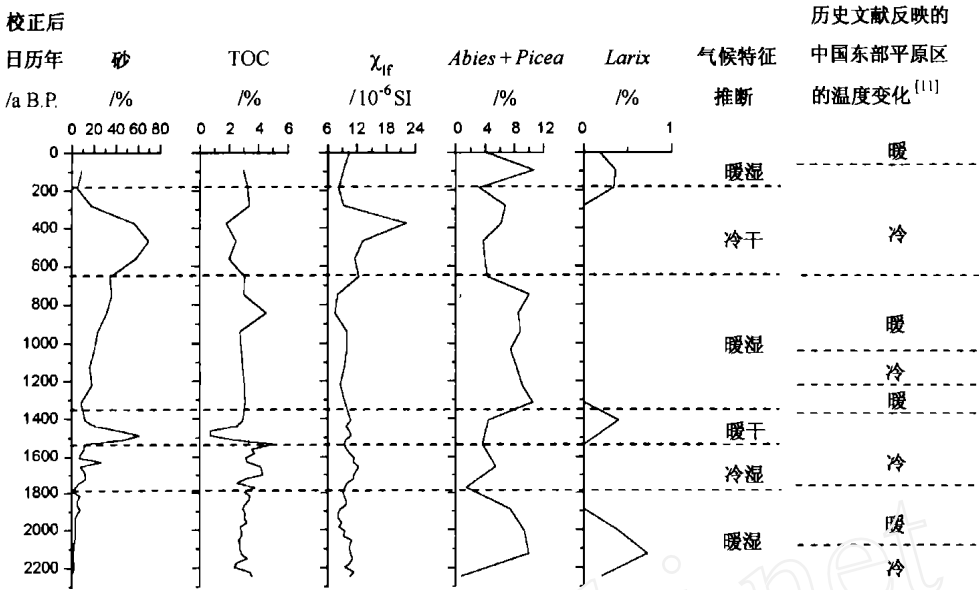


图3 东佛爷池剖面代用资料及其反映的气候变化过程

Fig. 3 Proxy data and suggested climatic changes of the sequence from Dongfoyechi

(4) 1 370 ~ 650 aB. P. 冷杉和云杉花粉含量处于峰值期,而此时落叶松花粉不出现,说明暖湿的气候条件使植被带上移,冷杉/云杉林线接近山顶附近地形林线的位置,落叶松可能仅在局部高海拔山峰附近分布。在 80cm 处发现的埋藏树枝经鉴定为云杉,¹⁴C 年代为 860 ± 60 aB. P.,校正后的日历年为 690 ~ 800 aB. P. (1, P = 51.2%)。进一步说明在这一时期云杉和冷杉可能大量分布在现在仅有零星落叶松出现的东佛爷池附近。这一时期沉积物具有较低砂含量,较高有机质含量以及低磁化率的特征。

(5) 650 ~ 200 aB. P. 期间 云杉、冷杉花粉含量处于低谷,落叶松花粉不出现,说明林线海拔下降,云杉、冷杉成为林线的组成树种。砂含量,特别是粗砂含量处于峰值,TOC 处于低谷而磁化率处于峰值,推断气候条件冷干,风化产物以粗颗粒为主,地表生物量低。这一阶段落叶松花粉可能由于含量太低没有被统计到。

(6) 200 ~ 50 aB. P. 与 2 240 ~ 1 800 aB. P. 时期的各项代用指标均较一致,推断其气候亦偏暖湿。

5.3 高山带与平原地区的气候变化过程对比

根据以上推断,综合粒度、总有机碳(TOC)、磁化率以及冷杉和云杉、落叶松的花粉含量,可将长白山约 2 300 年的气候变化过程划分为以下几个时期:2 250 ~ 1 800 aB. P., 1 370 ~ 650 aB. P. 以及 200 aB. P. 以后的暖湿期;1 800 ~ 1 530 aB. P. 和 650 ~ 200 aB. P. 的冷湿期和冷干期以及 1 530 ~ 1 370 aB. P. 的暖干期。当然,温度条件和湿度条件变化不可能完全对应,其中会出现小的偏差。

对于近 2 000 年或近 1 000 年来的气候变化过程,不同的作者采用不同的资料进行了

恢复,如历史文献^[10~12]、冰芯记录^[13]、湖泊沉积物记录^[14]、树木年轮^[11,15]等。由于不同的代用气候资料的分辨率不同、对不同气候特征的反映程度不同和加上样品来源地区不同,往往会得出截然不同甚至相反的结论。如冰芯和树木年轮资料反映的是年际变化过程,因此得出的变化周期往往多于湖泊沉积物和历史文献记录的分析结果。对冷/暖、干/湿的确定,不同的作者采用不同的标准,以至于在大的暖期中的小的降温事件被定义为一个冷期,因此出现了各种不同的结果。为了说明高山林线对气候变化的响应,本文选择历史文献资料的恢复结果进行对比分析,因为历史文献资料具有综合性,能反映大区域的变化。而植被的变化需要一个长时间的过程,是气候条件综合作用的结果。根据满志敏等^[12]的结果,2 000 多年以来中国东部平原的气候变化过程可以划分为以下几个阶段:战国至西汉初时期的寒冷气候(公元前 5 世纪中叶~2 世纪中叶)、西汉中叶至东汉末时期的温暖气候(公元前 2 世纪中叶~2 世纪末)、魏晋南北朝时期的寒冷气候(公元 3 世纪初~6 世纪中叶)、隋至盛唐时期的温暖气候(6 世纪中叶~8 世纪初)、中唐至五代时期的寒冷气候(8 世纪中叶~9 世纪末)、五代中至元前期的温暖气候(10 世纪初~13 世纪末)、元后期至清末的寒冷气候(14 世纪初~19 世纪末)(见图 3)。东佛爷池剖面反映的温度变化过程与历史文献记录基本能够对应,但对 8 世纪中叶~9 世纪末的寒冷气候没有反映,进一步说明高山林线反映的是长时间尺度的变化过程^[16],也可能与本研究的分辨率有关。

6 结论与讨论

通过太白山高山湖泊沉积物粒度、TOC、磁化率、孢粉等指标的分析,可以将太白山 2 300 年以来的气候变化过程划分为以下几个时期:2 250~1 800 aB. P., 1 370~650 aB. P. 以及 200 aB. P. 以后的暖湿期,1 800~1 530 aB. P. 和 650~200 aB. P. 的冷湿期和冷干期以及 1 530~1 370 aB. P. 的暖干期。温度变化过程与历史文献资料得出的平原地区的变化过程基本一致,说明太白山高山林线对气候变化总体上敏感,能够反映百年尺度的气候变化过程。

由于落叶松属花粉的保存能力较低,本文对湿度条件变化的推断存在很大的不确定性。对温度和湿度条件的定量推断也需要进一步的地表工作。

致谢 粒度和 TOC 分析由北京大学研究生唐元新完成。磁化率的分析工作得到了丹麦 Daloon 基金会和皇家外交部 Danida 项目的支持,谨此致谢!

参 考 文 献

- 1 Kearney M S, Luckman B H. Holocene timberline fluctuations in Jasper National Park, Alberta. *Science*, 1983, **221**: 261~262
- 2 Payette S, Filion L, Delwaide A *et al.* Reconstruction of tree-line vegetation response to climate change. *Nature*, 1989, **341**: 429~432
- 3 童国榜,吴锡浩,童琳等. 太白山最近 1 000 年的孢粉记录与古气候重建尝试. *地质力学学报*, 1998, **4**(4): 58~63
- 4 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. *海洋地质与第四纪地质*, 1996, **16**(4): 95~103
- 5 Liu Hongyan, Cui Haiting, Tang Zhiyao *et al.* Larch timberline and its development in temperate China. *Mountain Research and Development*, 2002, **22**(4): 359~367

- 6 Berglund B E ed. Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. Chichester: John Wiley and Sons, 1986. 455~484
- 7 雷明德. 陕西植被. 北京: 科学出版社, 1999. 520~523
- 8 李文华. 横断山区森林植被分布与水热因子相关的定量研究. 见: 中国科学院青藏高原综合考察队编. 横断山考察专集. 昆明: 云南人民出版社, 1983. 185~204
- 9 汤普森 R, 奥尔德费尔德 F(严尧基等编译). 环境磁学. 北京: 地质出版社, 1995. 59~60, 85~86
- 10 竺可桢. 中国近 5 000 年来气候变迁的初步研究. 中国科学, 1973, (2): 291~296
- 11 施少华, 杨怀仁, 王 翥. 中原地区晚全新世以来的环境变化. 地理学报, 1992, 47(2): 119~128
- 12 满志敏, 张 玮. 夏商以来中国东部的冷暖变化. 见: 施雅风总主编. 中国历史气候变化. 济南: 山东科学技术出版社, 1996. 283~300
- 13 姚檀栋. 古里雅冰芯近 2 000 年来气候环境变化记录. 第四纪研究, 1997, (1): 52~61
- 14 王苏民, 薛 滨, 夏威夷. 西门错 2 000 多年来气候变化的湖泊记录. 第四纪研究, 1997, (1): 62~69
- 15 Esper J, Cook E R, Schweingruber F H. Low frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. *Science*, 2002, 295: 2 250~2 253
- 16 Lloyd A, Graumlich L J. Holocene dynamics of treeline forests in the Sierra Nevada. *Ecology*, 1997, 78(4): 1 199~1 210

CLIMATIC CHANGES AND TIMBERLINE RESPONSES OVER THE PAST 2 000 YEARS ON THE ALPINE ZONE OF MT. TAIBAI

Liu Hongyan Wang Hongya Cui Haiting

(MOE Laboratory for Earth Surface Processes, College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871)

Abstract

In this paper, climatic changes in the past 2 300 years and mechanism of alpine timberline responses are highlighted based on proxy data, including grain sizes composition, total organic carbon (TOC), magnetic susceptibility, pollen percentages and plant remnants of a sediment sequence from an ancient glacial lake, Dongfoyechi Pond, on the alpine zone of Mt. Taibai. The following stages of climatic change can be distinguished: warm and humid during 2 250~1 800 aB. P., 1 370~650aB. P. and after 200aB. P., cold and humid from during 1 800~1 530 aB. P., warm and dry during 1 530~1 370 aB. P., and cold and dry during 650~200 aB. P., The changes of thermal conditions are in consistent with those in plain area of eastern China, as implied from historical literatures.

Key words alpine timberline, climatic change, Mt. Taibai