

# 长白山白河千年来气候环境变化与河流沉积<sup>\*</sup>

张 威, 穆克华, 李川川, 闫 玲, 牛云博

(辽宁师范大学 城市与环境学院, 辽宁 大连 116029)

**摘 要:** 气候变化是近年来全球变化研究关注的热点内容, 尤其是气候异常给人类带来的灾难性损失, 是山区发生灾害地貌的主导外因。对长白山松江水文站阶地剖面的粒度参数和孢粉进行分析, 结合 AMS<sup>14</sup>C 测年数据并与历史记录相校验, 重建该区的气候环境演化特点与河流沉积物的相变过程。结果显示, 研究区自千年来经历了 3 次明显的气候波动, 即 800—686 a B. P. 气候凉湿; 686—428 a B. P. 气候暖干; 428 a B. P. —至今气候以凉湿为主, 但有明显向温暖偏干方向发展的趋势, 与近几年全球变暖相一致。剖面沉积结构显示, 在几百年时间内发生三期河床波动, 与气候的快速转变存在明显的对应关系, 加强上游河流的水土保持工作并注意对两岸采石与就地取沙的管理。

**关键词:** 长白山; 河流沉积; 孢粉分析; 气候变化

中图分类号: P532

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)05-0071-05

## The Climatic Environmental Change and Fluvial Deposits Since 1000 Years in Baihe River of Changbai Shan, Jilin Province

ZHANG Wei, MU Ke-hua, LI Chuan-chuan, YAN Ling, NIU Yun-bo

(College of Urban and Environmental Sciences, Liaoning Normal University, Dalian, Liaoning 116029, China)

**Abstract:** A continuous fluvial sedimentary profile, Songjiang Hydrological Station is located near Songjiang Town, Jilin province. The environmental and fluvial deposits change indexes are related to the grain size, pollen analysis, with the AMS<sup>14</sup>C dating. Compared with the definite historical climate records, the climatic environmental change since 1000 years in the research region was discussed. The results show that the climate fluctuated in three stages, that is, the climate was cool and wet during 799~686 a B. P., warm and dry during 686~428 a B. P., wet and cool during 428 a B. P. — present. However, it has the tendency of becoming warm and dry. The results reflect that the climate change in different stages according with the historical records. Sedimentary profile shows that Baihe river bed has undergone three time fluctuation. The water conservation should be undertaken to protect from the loss of river sand and gravel.

**Key words:** Changbai Shan; fluvial deposit; pollen analysis; Climatic change

近年来, 气候异常给世界农业和人民生活带来了极大的灾害。关于造成气候异常的原因, 以及今后的发展趋势等都是人们极其关心的课题。为此, 有关科学家正在采用多种途径探索研究这个问题。沉积物粒度、孢粉, 环境磁学、地球化学等多种分析方法都为气候变化的研究提供了可靠的依据, 尤其是对于我们无法感知的过去的气候变化, 通过这些分析方法, 能得到较好的恢复。对过去气候变化进行研究, 不但可以深入认识气候变迁的历史、现状和预测其未来的变化趋势, 而且对工农业生产和建设也具有重要的实践意义。

中国东北地区的长白山不仅自身气候结构复杂, 规律明显, 独具风格。其高大山体的机械作用对吉林省中东部的气候及天气系统演变有所影响, 同时也使东亚大气环流更加复杂。该文以沉积物粒度和孢粉两种环境指标为主, 对长白山地区千年来的气候变化作以分析, 对阶地沉积物进行结构分

析, 并对其未来发展趋势进行预测, 对于区域水土保持研究具有重要意义。

### 1 研究区概况

长白山是我国东北地区第一高峰, 也是我国著名的休眠火山, 山顶为一大火山口湖, 名为长白山天池。长白山位于中朝两国边境的吉林省东南部, 如图 1。纬度上地处北纬 41°58′—42°06′, 东经 127°54′—128°08′, 我国境内最高峰白云峰海拔高达 2 691 m<sup>[1]</sup>。长白山体大致走向为北北东向, 它是一个靠近太平洋的东亚沿海季风区的山体, 在大地构造单元上属中朝地台安东复背斜, 系高位玄武岩台地上的休眠火山。根据其组成物质、主要营力和地貌类型的不同分为山前熔岩台地、山麓、斜坡和长白山火山体等三带<sup>[2]</sup>。

\* 收稿日期: 2007-11-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(40571016)

作者简介: 张威(1969—), 男, 吉林松原人, 博士, 副教授, 主要从事气候环境变化研究。E-mail: zhang\_w@pku.org.cn

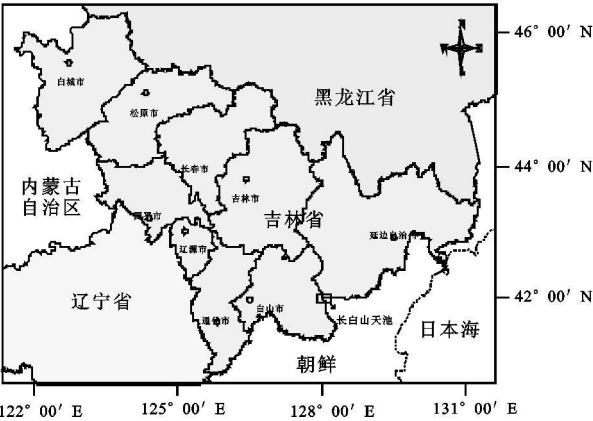


图 1 长白山地理位置图

该区属于温带季风气候,降雨量丰富,年平均气温低,具有漫长的寒冬和短促的暖夏,冬夏气温相差悬殊,由于亚洲大陆与太平洋气压场的配置,使长白山区风向随季节更替呈有规律的变化:东、春、秋多吹西风、西北风;夏季主吹东南、西南风,表明了明显的季风性<sup>[3]</sup>。本区植被垂直分带明显,从山下到山上大致可分为四个植被垂直带,分别为山地针阔叶混交林带;山地暗针叶林带;岳桦林带;高山苔原带<sup>[4]</sup>。1981 年徐文铎对长白山的植被垂直带进行了更细致的划分,从下往上依次为低山针阔混交林带,包括两个亚带,分别为沙松红松阔叶混交林亚带、红松阔叶混交林亚带;亚高山针叶阔叶混交林,包括两个亚带,分别为红松针叶混交林亚带、云杉冷杉林亚带;亚高山矮曲林带;高山苔原带,分为两个亚带,分别为杜鹃灌丛亚带、荒芜亚带<sup>[5]</sup>。

2 剖面位置及年代控制

剖面位于长白山北坡松江镇延边水文水资源勘测局松江水文站西 300 m,地处北纬 42° 34. 83', 东经 128° 19. 547', 海拔高度 680 m。采样点选择在松江镇白河下游一级阶地上,如图 2,采样点处的白河是由一道、二道、三道、四道、五道白河共同汇集而成,且各条支流的源头都来自长白山火山锥体高处,沉积物质中各组分含量丰富。

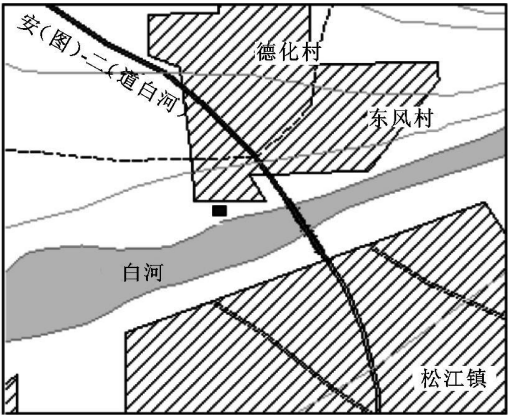


图 2 研究区剖面位置图

剖面深度 168 cm,宽 60 cm,依据粒度、颜色的变化可以分为 11 层,采样间距大小不等,大约是 15 cm,关键层位加密采样,剖面特征自上而下为(图 3):

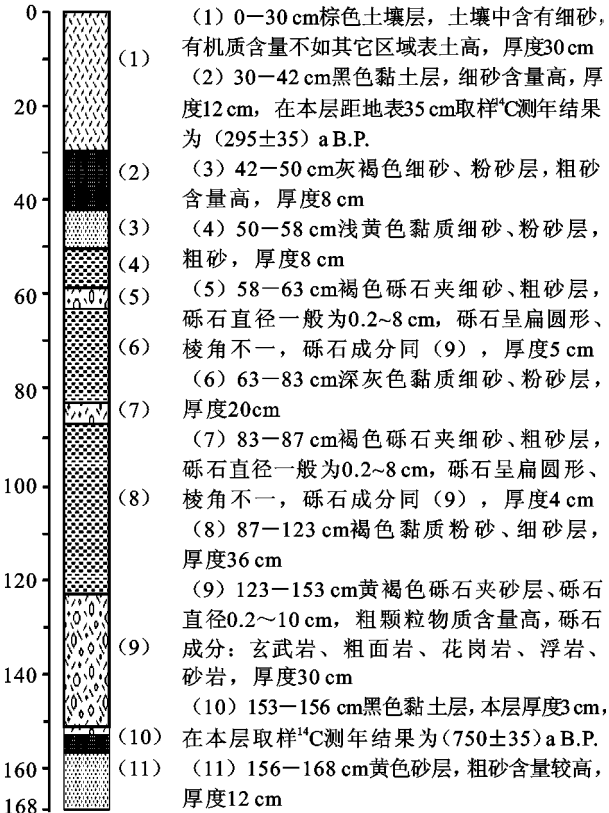


图 3 研究区剖面图

在北京大学加速器质谱实验室用加速器质谱仪(AMS)采用<sup>14</sup>C测年法进行剖面沉积物年代测定,由地面年代控制,并经内插和外延确定整个剖面年代,对关键层界限年代采用沉积速率转换为年代位置,并参考长白山地区的成土特点转换为年代位置<sup>[6]</sup>,剖面沉积速率情况是:自剖面底部 155 cm至 35 cm 处的平均沉积速率为 0.264 cm/a,35 cm 至地表的平均沉积速率为 0.119 cm/a。与湖泊沉积速率相比较,这与河流汇水面积大,物源供给多等因素有关。

3 剖面结构与粒度分析

从野外实际观测的结果看,该剖面的特点清楚,在下部 153~ 156 cm,与上部 30~ 42 cm 两层黏土层之间,自下而上发育了三套河漫滩的沉积旋回,代表了三次由于气候变化而引起的水量变化,进而发生河流下蚀作用导致剖面上的粗细相间变化。而且靠近底部的沉积旋回厚度明显大于中、上部旋回的沉积厚度,原因可能有两种:其一,底部沉积旋回的作用时间长,水动力条件并不是十分强烈,长期的凹岸侵蚀使岸坡垮塌滞留了砾石、泥砾,而凸岸沉积了细颗粒如细砂、黏质粉砂等物质,当时河流越岸物质相对丰富,沉积作用时间较长;其二,可能是由于形成该沉积旋回的时间不长,但是河流的水动力条件比较强;从三个沉积旋回的二元结构沉积物上看,底部的河流砾石层及其上覆的细颗粒物比较厚的情况看,其形成更倾向于第一种原因。而中部和顶部沉积旋回的砾石层及上覆沉积物的厚度不大,也正说明其持续的时间并不长的特点。这与以下的分析结果基本可以呼应,说明河床的下切移动幅度有加快的趋势。

粒度分析作为沉积物分析的一个基本手段,可以用来推断沉积物的来源、搬运动力以及不同的沉积环境<sup>[7]</sup>。因此,通过对沉积物粒度特征研究可了解沉积物所处的沉积环境。一般认为,河流沉积物中,沉积物粒径小,细颗粒物含量高,表明水流量小,气候干旱,相反,沉积物粒径大,粗颗粒物含量高,表明当时水动力条件比较大,河流流量大,气候湿润<sup>[8]</sup>。实验方法及计算原理如下:

粒度分析在辽宁师范大学实验测试中心实验室完成,采用水筛法。测定界限是粒径大于 0.125 mm 的样品,将粒径小于 0.125 mm 的部分采用岛津离心沉降式粒度分布测定装置 SA-CP3 仪器进行上机测定。

各粒度统计参数值采用福克(Folk)和沃德(Ward, 1957)的公式计算,其中:

$$\text{均值 MS} = (\phi_5 + \phi_{16} + \dots + \phi_{84} + \phi_{95}) / 7$$
$$\text{标准差 SD} = (\phi_{84} - \phi_{16}) / 4 + (\phi_{95} - \phi_5) / 6.6$$
$$\text{偏度 SK} = (\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}) / 2 \times (\phi_{84} - \phi_{16}) + (\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50}) / 2 \times (\phi_{95} - \phi_5)$$

表 1 各粒度参数在剖面中的平均值

深度/cm	均值	标准差	偏度	峰态	众数	粘土	细粉砂	粗粉砂	细砂	中砂	粗砂
	MS/ $\phi$	SD/ $\phi$	SK	KU	MODE/ $\phi$	> 8 $\phi$ / %	6~ 8 $\phi$ / %	4~ 6 $\phi$ / %	2~ 4 $\phi$ / %	1~ 2 $\phi$ / %	< 1 $\phi$ / %
平均值	3.32	1.62	0.06	1.03	3.42	0.22	8.02	30.5	34.11	16.74	10.39

I 段: 90~ 156 cm, 粒度平均值为 2.7 $\phi$ , 变化在 1.47~ 4.23 $\phi$ , 属于砂、粉砂级; 标准差变化在 1.20~ 1.62 $\phi$ , 平均值为 1.46 $\phi$ , 分选近于中等; 偏度平均值为 0.08, 变化在- 0.20~ 0.26 之间, 近于对称; 峰态值变化在 0.76~ 1.54, 平均值为 1.18, 属于窄峰态, 表明沉积物分选良好; 众数平均值为 2.71 $\phi$ , 属于细砂级, 在 156 cm 处有一波峰, 众数值为 5.09 $\phi$ 。从该段剖面各粒度参数来看, 水动力条件较强。

II 段: 90~ 60 cm, 粒度平均范围 3.34~ 4.29 $\phi$ , 平均值为 3.92 $\phi$ , 为细砂级, 但粒度较上一阶段细很多, 基本上是向粉砂级靠近; 标准差范围在 1.65~ 1.73 $\phi$ , 平均值为 1.68 $\phi$ , 分选中等; 偏度变化在- 0.16~ 0.40 之间, 平均值为 0.08, 近于对称; 峰态值变化在 0.82~ 1.04 之间, 平均值为 0.92, 近于中等; 众数平均值为 4.06 $\phi$ , 主要集中在粗粉砂级。反映该段时期水动力条件较上段差。

III 段: 60~ 0 cm, 粒度平均范围 1.88~ 4.42 $\phi$ , 平均值为 3.30 $\phi$ , 为细砂级; 标准差平均值为 1.67 $\phi$ , 介于 1.23~ 1.97 $\phi$ , 分选中等; 偏度介于- 0.15~ 0.20, 平均值为 0.03, 近于对称分布, 峰态介于 0.85~ 1.28, 平均值为 1.00, 处于正态分布, 众数平均值为 3.47 $\phi$ , 以细砂级为主, 与第 II 阶段相比明显变粗, 水动力条件跟 I 段相当, 但从接近表土的曲线变化来看, 气候变化正朝下一次干燥期前进, 同时在 35 cm 处有一波峰, 众数值为 4.6 $\phi$ 。

4 孢粉分析

孢粉分析是环境重建的重要指标之一, 被广泛应用于古气候、古环境的重建<sup>[9-12]</sup>。沉积物中所含的大量孢子花粉, 是古气候的良好标志, 特别是反映区域植被特征的主要森林树种花粉含量的多寡, 往往可以作为当时冷热、干湿程度的指标。

$$\text{峰态 KU} = (\phi_{95} - \phi_5) / 2.44 \times (\phi_{75} - \phi_{25})$$

将测定结果转换成百分含量值, 并做出累积曲线图, 从累积曲线上查出 5%, 16%, 25%, 50%, 75%, 84%, 95% 处的粒径值, 它们分别为  $\phi_5$ ,  $\phi_{16}$ ,  $\phi_{25}$ ,  $\phi_{50}$ ,  $\phi_{75}$ ,  $\phi_{84}$ ,  $\phi_{95}$ , 然后带入相应的粒度统计参数计算公式进行计算, 粒度分级标准采用国家海洋局(1975)的粒度分级标准。

剖面粒度参数在剖面中的平均值统计如表 1, 从整个剖面看, 松江水文观测站剖面粒度平均值为 3.32 $\phi$ , 介于 1.47~ 4.42 $\phi$ , 其中以粗粉砂、细砂级为主, 中砂级和粗砂级次之, 黏土含量最低, 众数值亦反映出细砂含量高, 说明河流搬运能力较强的特征。标准差平均值为 1.62 $\phi$ , 介于 1.21~ 1.98 $\phi$ , 分选性中等, 说明该剖面所形成的整个时期该区域的水动力条件较强, 但不是非常大。偏度正负偏相当, 平均值为 0.06, 近于对称, 也表明了该区域的水动力条件不是很大这一特征。剖面显示的三个旋回的河漫滩结构将整个剖面分为 I、II、III 三个大段, 与室内分析结果基本一致(图 4)。下面对剖面顶部至底部 156 cm 处三段的粒度变化情况进行讨论。

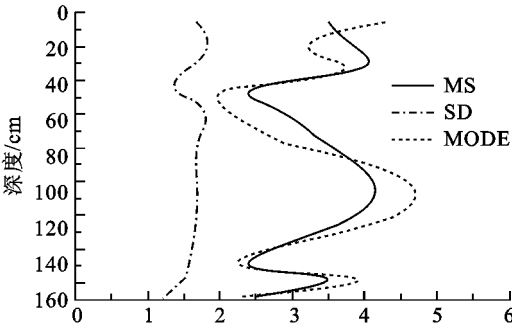


图 4 剖面粒度参数曲线图

该文剖面孢粉分析是在河北师范大学资源与环境学院由许清海高级工程师鉴定, 主要采用氢氟酸处理的方法。孢粉鉴定在 400 倍 Olympus 生物显微镜下进行。该剖面取样 11 个, 共鉴定统计孢粉 5 039 粒, 分属 61 个科属。其中乔木和灌木植物花粉有松、云杉、冷杉、栎、槲、榆、桦、胡桃、柳、榛子等; 草本植物花粉有蒿、藜科、禾本科、菊科、紫菀、莎草科、唐松草(Thalictrum)、蓼(Polygonum)等, 蕨类植物孢子有单缝孢(Monoletes)、三缝孢(Triletes)、猫尾石松(Lycopodium squarrosum)、环纹藻(Concentricystes)等。

该剖面采集 1 块表土样品(11 号样品), 采样点所处的森林垂直带为山地针阔叶混交林带。该表土样品木本植物以松、云冷杉为主, 分别占孢粉总数的 48.7% 和 14.3%, 另有少量的桦、栎、胡桃等; 草本植物以莎草科(占孢粉总数的 5.1%)、蒿(占孢粉总数的 3.2%)、藜科(占孢粉总数的 3.0%)、禾本科(占孢粉总数的 1.9%) 为主, 另有少量菊科和蓼科花粉, 综合分析, 此带木本植物花粉含量较大, 木本植被大量繁殖, 说明气候正朝适合于针阔叶林生长的方向发展, 表示气候向暖的方向转化。

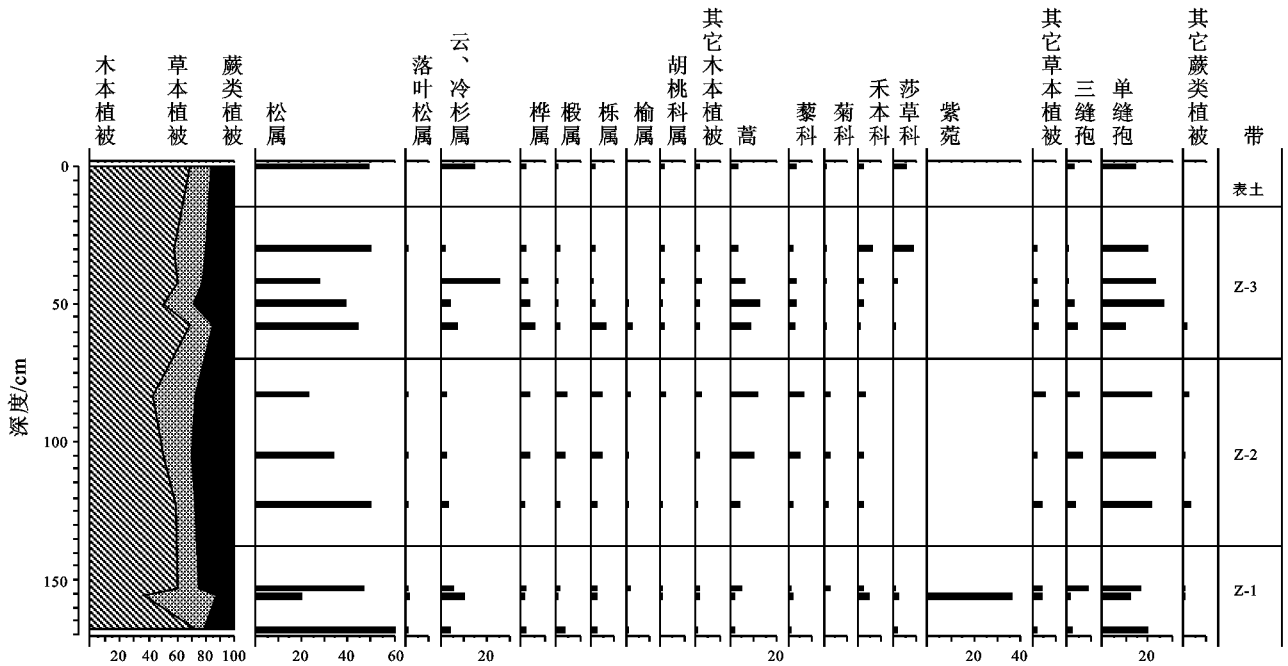


图 5 长白山松江镇水文站孢粉百分比图式

根据花粉百分比和浓度图式剖面自下而上可分成 3 个孢粉组合带,如图 5 所示。

孢粉带 I (1-3 号样品): 木本植物花粉以松为主, 占孢粉总数的 19.7%~59.7%; 其次是云冷杉, 占孢粉总数的 3.9%~10.2%, 此外还有少量的桦、栎、椴、榆、落叶松等。草本植物花粉以藜、菊科、禾本科、菊科为主, 分别占孢粉总数的 1.5%~4.0%, 0.6%~1.1%, 0%~3.8% 和 0.3%~2.3%。本带的 2 号样品鉴定出大量的五福花花粉, 占孢粉总数的 36%, 偶尔也可以见到毛茛科、百合科、唐古草、车前属的花粉, 该组合面貌推测可能是一种针阔混交林带, 气候稍凉。

孢粉带 II (4-6 号样品): 本带松花粉含量为 23.1%~49.9%, 云冷杉花粉含量明显减少, 为 2.3%~2.9%; 草本植物藜、菊科含量明显增加, 分别为 3.9%~11.6% 和 2.1%~5.9%, 湿生的莎草科花粉在本带消失; 分类位置不确切的蕨类植物三缝孢和单缝孢明显增加(占孢粉总数的 25.5%~29%), 本带花粉浓度较低, 花粉总浓度为 218~973 粒/g。花粉组合和花粉浓度都显示本带气候环境比上带温暖。

孢粉带 III (7-10 号样品): 本带木本植物花粉松有明显增长, 最高含量达孢粉总数的 49.8%, 木本植物的另一个变化是云冷杉含量增加(占孢粉总数的 1.7%~25.4%), 且木本植物种类也比上带丰富。草本植物的莎草科花粉在本带重新出现且达到了本剖面的最高值(占孢粉总数的 8.3%)。本带花粉浓度也比上带明显增高, 为 58~3 048 粒/g。这一植被面貌推测当时气候环境与 I 带相近, 亦是稍凉。

## 5 讨论与结论

### 5.1 实验数据与历史记录的校验

粒度分析阶段 I 和阶段 III, 分别在 156 cm 处和 35 cm 处出现一波峰, 从剖面图上看到在这两个波峰出现处有两个黑色黏土层, 反映出在水动力较强的情况下出现了细颗粒物

质含量高的状况。剖面 155 cm 处, 孢粉百分比图式曲线中木本和蕨类出现了两个明显的低峰, 草本植物含量增大, 表明了一种干燥的气候条件, 此处<sup>14</sup>C 测年(750±35) a B. P. 年, 即为公元 1257 年前后, 这正与竺可桢在中国近五千年来气候变迁研究所述情况相吻合: 元朝初期(公元 1268-1292 年), 西安和河内又重新设立“竹监司”的官府衙门, 就是气候变暖的结果<sup>[13]</sup>。看来此次短期的暖干气候是全国性的。至于剖面 35 cm 处出现的这一波峰, 应该是又一次的短期暖干气候期, 此时期即公元 1712 年左右。以世纪划分的表 3 显示长江流域河流与湖泊的封冻情况, 从中可以看出, 17 世纪为最冷, 共 14 个严寒冬天, 19 世纪次之, 共有 10 个严寒冬天。而 18 世纪相比之下是个温暖的世纪, 这又是一次全国性的短温暖期。这正与所推测的长白山 1712 年左右的暖干气候相对应。但是, 孢粉分析图示中没有出现明显的异常情况, 说明植被没有大的变化, 意味着这两次干燥期并没有对植被产生大的影响, 故从长时间段过程分析, 气候以湿润为主。

从粒度和孢粉两种环境指标对比分析长白山地区的气候, 可以得到一个较肯定的结论, 就是长白山地区自 800 年来, 总体上是处于较湿润, 较温凉的气候条件下。但是整个剖面对比分析来看, 还是有一定的差别, 即分三个大的阶段:

第一阶段: 686-799 a B. P. (公元 1321-1208 年), 从沉积物粒度及孢粉分析来看, 该时期气候以凉湿为主。

第二阶段: 428-686 a B. P. (公元 1321-1579 年), 从两种环境指标的上述分析看出, 该时期气候以温暖为主, 草本植被的增加意味着比上段要干燥一些。

第三阶段: 428 a B. P. - 至今(公元 1579 年-至今), 从植被状况和沉积物粒度显示来看, 该时期气候以凉湿为主, 但从曲线变化趋势看, 正在朝暖的方向发展, 这正与近年来的全球变暖相一致。

表 3 长江流域河湖结冰的年代<sup>[13]</sup>

年代( 一世纪/ 4)	太湖	鄱阳湖	洞庭湖	汉水	淮河
1901– 1970 年			1955	1955	1955
1900 年					
第四	1877, 1893		1877	1877, 1886, 1899	
第三	1861	1861, 1865		1865, 1871	
第二		1840		1830	1845
第一					
1800 年					
第四			1790		
第三	1761				
第二					
第一					1715, 1720
1700 年					
第四	1683, 1700		1690	1690, 1691	1690
第三	1654, 1665	1670	1653, 1660	1653, 1660, 1670	1653, 1670, 1671
第二					1640
第一			1621	1620, 1621	1619

5.2 区域水土保持的重要性

正是由于上述粒度、孢粉资料以及历史记录相互校验结果所揭示的三期气候变化,对该区的河流沉积发生动荡影响很大,并且有逐步加快的趋势。值得注意的是,在孢粉分析资料所反映的植被类型上看,气候有不断向暖干方向发展的趋势,这与近年来东北地区实际的观测资料想吻合,但是根据长白山气象站 40 年的降水资料( 1 365. 8 mm),而且所研究地点海拔也在 650 m,其水量的补给应该说是比较充分的,即降水因素的影响在长白山区占主导地位,而温度因素次之。自然地理与气候状况自然是决定过去河流发生动荡的主要原因,该区的水分来源主要是一道、二道、三道、四道、五道白河共同汇集,各条支流的源头都来自长白山火山锥体高处,上游河道的变化对本地影响比较大,应该注意加强上游地区的水土保持工作。同时,人为因素也要控制,如要注意对当地河流对两岸岩石的开采与不顾长期利益的就地取沙。否则对于目前在河流阶地上住户会有一定的影响。

参考文献:

[ 1 ] 刘金陵. 长白山区孤山屯沼泽地 13000 年以来的植被和气候变化[ J ]. 古生物学报, 1989, 28(4): 495-511.

[ 2 ] 黄锡畴, 刘德生, 李祯. 长白山北侧的自然景观带[ J ]. 地理学报, 1959, 25(4): 435-446.

[ 3 ] 杨美华. 长白山的气候特征及北坡垂直气候带[ J ]. 气象学报, 1981, 39(3): 311-318.

[ 4 ] 陈灵芝, 鲍显诚, 李才贵, 等. 吉林省长白山北坡各垂直带内主要植物群落的某些结构特征[ J ]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1964, 2(2): 207-225.

[ 5 ] 徐文铎, 林长清. 长白山植被垂直分布与热量指数关系[ M ]// 森林生态系统研究(2 卷), 1981: 88-95.

[ 6 ] 张威, 崔之久, 冯金良. 云南拱王山冰蚀湖相沉积剖面全新世孢粉记录与环境[ J ]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(1): 109-112.

[ 7 ] 徐馨, 何才华, 沈志达, 等. 第四纪环境研究方法[ M ]. 贵州: 贵州科技出版社, 1992: 69-75.

[ 8 ] 刘耕年. 川西螺髻山冰川地貌[ D ]. 北京: 北京大学, 1985: 56-64.

[ 9 ] 张俊牌, 童敏, 王书兵, 等. 太白山芳香寺剖面孢粉记录的古气候重建[ J ]. 地质力学学报, 2001, 7(4): 315-320.

[ 10 ] 孙湘君, 罗运利, 陈怀成. 中国第四纪深海孢粉研究进展[ J ]. 科学通报, 2003, 48(15): 1613-1621.

[ 11 ] 鞠远江, 刘耕年. 孢粉记录揭示的 4000aB. P. 来乌鲁木齐河源区气候环境变化[ J ]. 冰川冻土, 2004, 26(2): 166-170.

[ 12 ] 许清海, 肖举乐, 中村俊夫, 等. 孢粉资料定量重建全新世以来岱海盆地的古气候[ J ]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(4): 99-108.

[ 13 ] 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究[ J ]. 中国科学, 1973: 168-188.