

图 1 泥炭表土采样分布图

Fig. 1 Distribution of surface peat samples

制的特点, 千山山脉东侧, 大兴安岭北段以及完达山脉的植硅体分布均对此有明显的表现。

2) 受地形控制明显 同一纬度范围内, 平原地区帽型、尖型、齿型和棒型植硅体的含量略低于山区, 哑铃型、鞍型、扇型、方型、长方型和梯型植硅体则与之相反。如: 长白山脉植硅体帽型、尖型、齿型和棒型的总含量平均在 65% 左右, 哑铃型、鞍型、扇型、方型、长方型和梯型的总含量平均为 32%。松嫩平原和辽河平原帽型、尖型、齿型和棒型植硅体的总含量平均约 52%, 而哑铃型、鞍型、扇型、方型、长方型和梯型的总含量平均约 45%。但是, 有一个共同的特征就是帽型等植硅体的含量高于哑铃型等植硅体的

含量, 这与东北地区处于寒温带有关。

3) 受温热条件的影响 东北地区泥炭表土中植硅体组合的分布与平均温等值线、平均降水等值线和平均相对湿度等值线的分布趋势存在某种程度的对应关系, 即: 较高均温对应扇型、哑铃型较高含量, 较高湿度对应扇型等较高含量^[18]。

3 数据分析方法及结果

首先, 采用典型相关分析和聚类分析进行泥炭表土中的植硅体组合与现代气候因子之间的相关分析。结果显示第一对典型相关变量的相关系数为 0.807, 第二对为 0.716 第三对为 0.591 同时表明影响泥炭

植硅体组合的气候因素主要有气温、降水和相对湿度,受影响明显的植硅体为哑铃型、扇型、鞍型、齿型、尖型和帽型等。植硅体组合与年均气温、年均降水量和年均相对湿度之间很好的相关性为进一步分析植硅体组合与气候因子之间的定量关系奠定了基础。

一个好的回归方程,首先应该包含尽可能多的与因变量有关的自变量,特别是不能遗漏对因变量有显著作用的自变量;其次,为了使用方便,又要求回归方程中包含尽可能少的变量,特别是不宜包含对因变量没有显著作用的自变量,在回归方程中如果含有这样的变量,不但要增加计算量,还会降低正规方程组的稳定性,影响计算精度^[19]。

在建立泥炭表土植硅体—气候因子转换模型之前,为了尽量减少变量的个数,提取其中绝大部分主要信息,使地质成因概念更加清晰,对泥炭地表层样品和剖面样品的植硅体组合数据同时做 R 型因子分析,提取了表层样品与剖面样品中共同的主因子: F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 、 F_6 、 F_7 , 累计贡献率 0.9320。

为了避免某种因素作用的放大或某些因素作用的减弱,采用逐步回归分析方法,以减小自变量之间的近似相关性。将所得的 7 个主因子依次定义为变量 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 和 X_7 , 将年平均气温、年平均降水量、年平均相对湿度依次定义为 Y_1 、 Y_2 和 Y_3 。然后计算得出植硅体—气候因子转换函数,其中:

年均温 $Y_1 = 22.741 + 8.254X_1 + 8.647X_2 + 9.507X_6$, 误差 10.37%。进行 F 检验, $F = 8.920$ 自由度 (3, 37), 查 $F_0 = 0.01$ 的临界值, 知 $F > F_0$, 证明模型有效。

年均降水量 $Y_2 = 5252.048 + 635.991X_1 - 326.642X_6$, 误差 7.72%。进行 F 检验, $F = 5.326$ 自由度 (2, 38), 查 $F_0 = 0.01$ 的临界值, 知 $F > F_0$, 证明模型有效。

年均相对湿度: $Y_3 = 65.694 - 2.336X_6$, 误差 7.99%。进行 F 检验, $F = 18.407$, 自由度 (1, 39), 查 $F_0 = 0.01$ 的临界值, 知 $F > F_0$, 证明模型有效。

4 泥炭剖面定量古气候重建

4.1 剖面概况

榆树泥炭剖面位于敦化盆地的东北部,地理坐标为 $E128^{\circ}28'$, $N43^{\circ}31'$, 海拔 451 m。该区属中温带温凉季风气候,春季干燥多风,夏季温热多雨,秋季凉爽少雨,冬季寒冷期长;年均温 2.9°C , 年均降水量 631.8 mm, 相对湿度较高。

泥炭地属于沟谷型草本泥炭,主要发育莎草科、蓼科、鸢尾科、柳叶藓科、景天科、菊科、毛茛科和禾本科的部分种属。泥炭地未被开垦,面积约 0.2 km^2 , 周边有 3 m 宽, 3 m 深的壕沟,内积水很深,采样位置在泥炭地中间。

剖面总厚度为 232 cm, 其中 232~229 cm, 黑色泥质粘土夹泥炭; 229~170 cm, 棕褐色泥炭, 中细纤维结构, 分解较好; 170~20 cm, 棕色泥炭, 中细纤维结构, 分解略好; 20~0 cm, 棕黄色泥炭, 中细纤维结构, 分解较差。

每 2 cm 取样, 50 cm 处、114 cm 处、170 cm 处和 232 cm 处的四个样品在中国地质调查局青岛海洋地质实验检测中心进行 ^{14}C 测年。测得的年龄分别为 $1370 \pm 80\text{ a}$ 、 $2250 \pm 100\text{ a}$ 、 $2330 \pm 70\text{ a}$ 和 $2960 \pm 140\text{ a}$ (图 3)。

4.2 剖面植硅体组合特征

根据植硅体组合含量变化、示暖和示冷指数 (图 2), 可知剖面上植硅体组合特征如下:

230~200 cm, 长方形、梯型和鞍型植硅体含量逐渐增加, 哑铃型植硅体含量先减后增。示暖指数曲线的变化趋势呈较高值特征, 代表此时较温暖的气候。

200~108 cm, 前期方型、鞍型、帽型植硅体含量先略减少后缓慢增加, 尖型植硅体含量先减后增, 其他植硅体含量变化不明显; 示暖指数变化比较平缓, 表明气候系统相对稳定。118~108 cm, 梯型、齿型和尖型植硅体含量先增后减, 帽型植硅体含量先减后增。示暖曲线整体上呈上升趋势, 表明气候向温暖变化。

108~82 cm, 其中 108~92 cm, 哑铃型、鞍型植硅体含量减少, 长方形、梯型和帽型植硅体含量增加, 示暖曲线缓慢波动变化, 呈上升特点, 说明气候比较稳定。92~82 cm, 扇型、齿型和尖型植硅体含量减小, 长方形、帽型植硅体含量增加, 气候变化剧烈。

82~74 cm, 方型和棒型植硅体含量变化不大, 扇型、梯型、齿型植硅体含量增加, 哑铃型、鞍型植硅体含量减少。示暖指数亦说明此时气候比较冷。

74~56 cm, 哑铃型、方型、梯型和齿型植硅体含量减少, 帽型和棒型植硅体含量增加。植硅体示冷曲线表现出明显的峰值, 说明该阶段气候变冷。

56~28 cm, 哑铃型、扇型和鞍型植硅体含量明显增加, 齿型、尖型植硅体含量明显减少, 方型和帽型植硅体含量有减小的特点, 长方形和棒型植硅体变化不大。示暖曲线比较平缓, 气候较稳定。

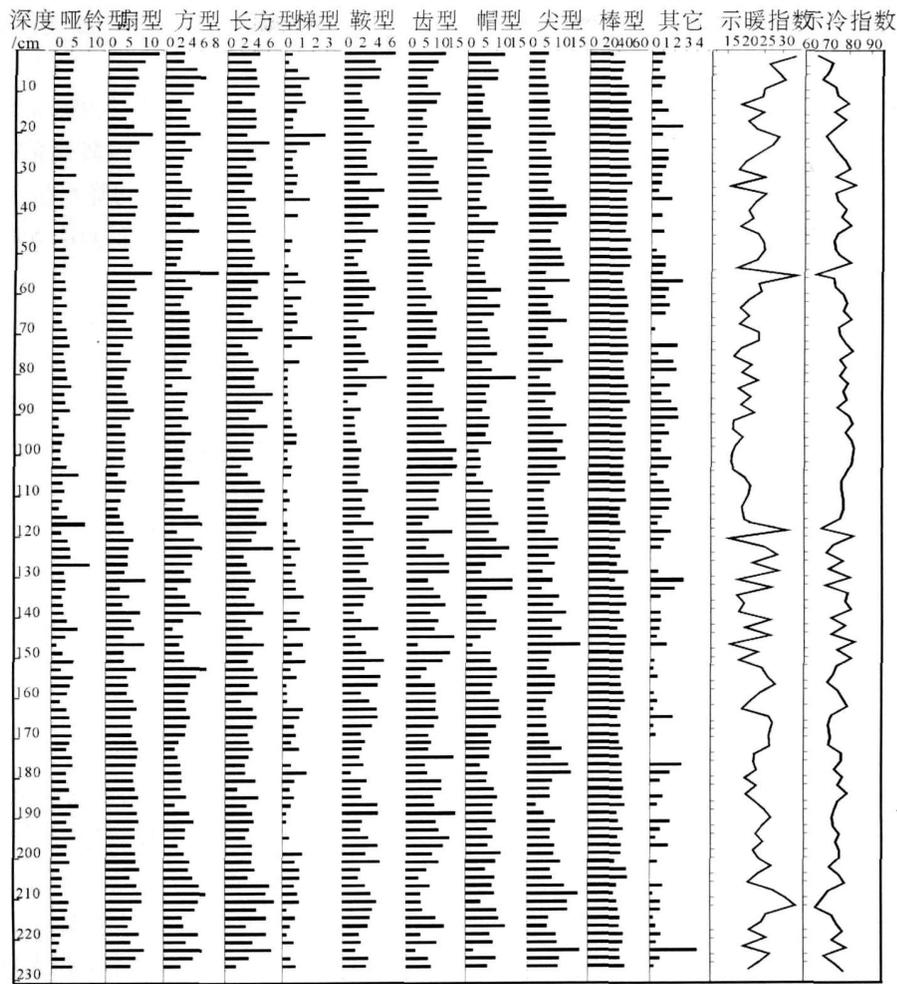


图 2 榆树泥炭剖面植硅体组合图式

Fig 2 Phytolith diagrams in peat deposit profile of Yushu

28~0 cm, 哑铃型、扇型、方型、长方型、鞍型、齿型和帽型植硅体表现出先减少后增加的特点, 尖型植硅体含量变化表现为先增后减的趋势, 棒型植硅体含量变化很小。示冷曲线出现高值 (20 cm 左右) 后又下降, 说明气候先变冷后又转暖。

4.3 古气候重建

运用转换函数对剖面古气候参数进行计算, 得出近 3 000a 来榆树剖面的古年均温、古年均降水量和古年均相对湿度, 并绘制曲线图 (图 3)。剖面上古气候反演参数随时间发生的大小变化表现较为复杂, 但它们都可以看作时间域中的相对独立存在, 我们选用趋势分析和聚类平均分析对数据进行分段, 寻找其变化规律。

(1) 230~184 cm, 即 2 960 ± 140~2 465 a B.P. (1 010~515 BC), 对应西周及春秋时期。古年均温度平均值 3.0 °C, 古年均降水量平均值 480 mm, 古

均相对湿度平均值 64.4%, 说明此时气候处于温暖湿润时期。古年均温、古年均降水量和古年均相对湿度曲线变化比较平缓, 指示当时气候系统相对稳定, 变化较缓。

(2) 184~112 cm, 即 2 465~2 205 a B.P. (515~255 BC), 对应战国时期, 从反演的古气候参数来看, 该段古年均温的平均值为 2.4 °C, 古年均降水量的平均值为 480 mm, 古年均相对湿度的平均值为 65.2%。反映了冷湿的气候条件。古气温值明显低于上一阶段, 气候变冷。古气候参数曲线均呈锯齿状波动, 表明该深度对应的古气候系统处于不稳定状态, 变化频率较快。

(3) 112~76 cm, 2 205~1 690 a B.P. (255 BC~260 AD), 对应两汉时期。相对上段而言, 此段古温度的均值略有上升, 平均为 2.1 °C 左右。古年均降水量的平均值为 518 mm, 古年均相对湿度 66.2%。古

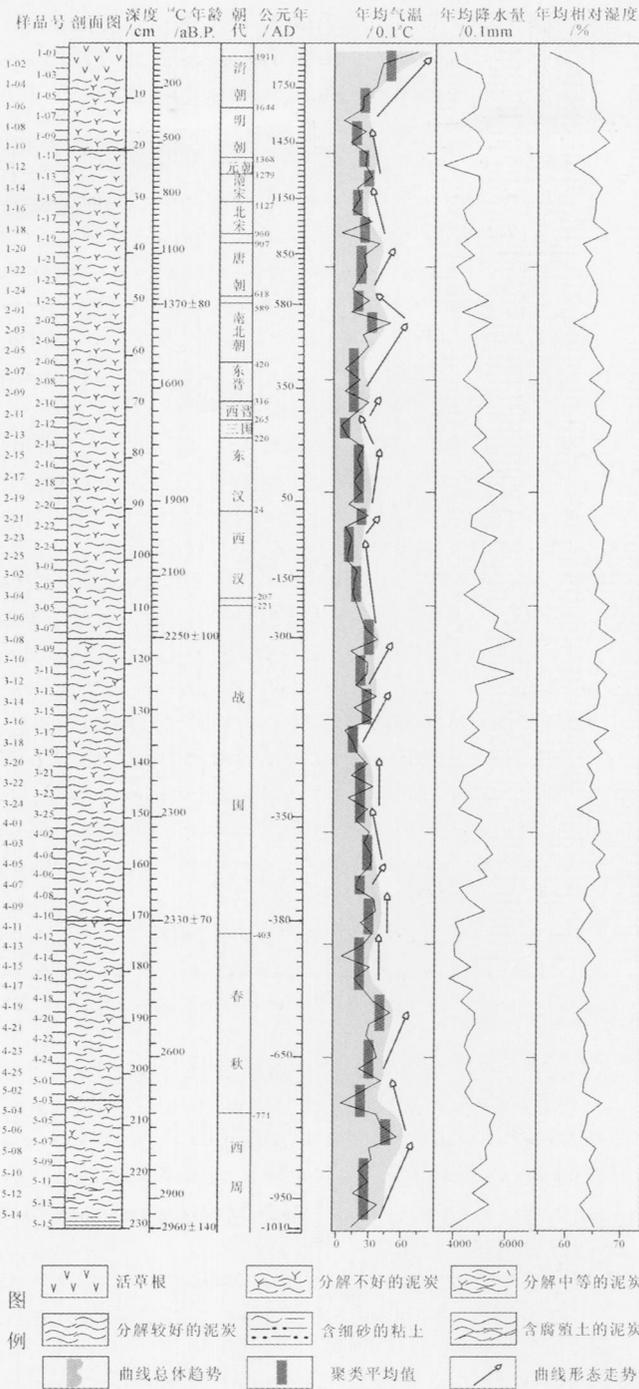


图 3 榆树剖面植硅体—气候因子转换模型反演曲线
 Fig. 3 Paleoclimatic curves of Yushu peat profile

气候参数曲线变化相对平稳, 指示了较稳定的古气候系统。

(4) 76~ 54 cm, 1 690~ 1 370 a B. P. (260~ 580AD), 两晋南北朝时期, 古年均温度平均值较低, 平均值为 1.6°C, 但后期出现上升的趋势。古年均降水量的平均值为 518 mm, 古年均相对湿度的平均值

为 66 %。说明该段对应古气候属寒冷湿润的特征。

(5) 54~ 36 cm, 1370~ 950 a B. P. (580~ 1 000 AD), 隋唐时期。古年均温较高值时期, 古年均温度的平均值为 2.8°C, 古年均降水量平均值为 485 mm, 古年均相对湿度的平均值为 64.5%。表明该段对应温暖气候。

(6) 36~ 15 cm, 950~ 380 a B. P. (1 000~ 1 570 AD), 宋元明时期。古年均温缓慢下降时期。古年均温的平均值为 2.1°C, 古年均降水量的平均值为 478 mm, 古年均相对湿度的平均值为 64.4%。此段气候表现为干冷的特点, 气候因子曲线波动较强, 这与中世纪小冰期^[20]存在一致性。

(7) 15~ 0 cm, 1 570 AD 至今, 表现为升温特点, 由于接近地表, 生物扰动等原因可能会影响分析结果的精度。

5 讨论与结论

通过对榆树泥炭剖面古气候重建可知, 近 3 000a 来, 该剖面整体经历了暖—冷—暖—冷—暖—冷—暖 7 个气候阶段, 而且每个气候阶段的特点与历史上人类活动存在密切的关系。例如计算出的春秋时期古温度值较高, 与此时鲁国冰房曾无冰可存^[21]一致; 反演出的两汉和隋唐时期较稳定的气候系统则与西汉时期我国农业经济的繁荣^[22]以及隋唐时期的强盛^[23]亦一致; 而南北朝时期的剧烈气候波动及低温则也有史料上的反映, 史载公元 350~ 500 a 南朝都城建业(今南京)附近的河湖冬季结冰^[24]。

从总体来看, 剖面上古年均温、古年均降水量、古年均相对湿度的变化基本上呈同步消长的关系。细分析各阶段古气候参数的曲线变化特点可见, 古温度的变化早于古降水变化、古降水的变化则早于古相对湿度的变化。

从重建的古温度变化曲线还可以看出, 温暖湿润的气候条件下, 各曲线的变化平缓; 而寒冷的气候环境下, 各曲线的变化则呈锯齿状, 这说明越是温暖湿润的气候条件, 气候系统则越稳定, 越是干冷的气候条件, 气候系统越不稳定, 变化频率越高。

转换函数的精确度不仅与表土样品的数量有关, 而且与样品处理过程有关。随着表土样品的不断增加及实验处理设备的不断进步, 它将在定量古气候重建研究中发挥更重要的作用。

参考文献 (References)

- 1 宋长青, 吕厚远, 孙湘君. 中国北方花粉—气候因子转换函数建立及应用 [J]. 科学通报, 1997, 42(20): 2182-2186 [Song Changqing Lv Houyuan Sun Xiangjun The construction and application of pollen-climate transfer function in North China [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(20): 2182-2186]
- 2 李珍, 王开发, 王永吉, 等. 红树林孢粉—气候因子转换函数恢复古环境的可行性初探 [J]. 海洋科学进展, 2002, 20(3): 73-78 [Li Zhen, Wang Kaifa, Wang Yongji et al. A preliminary study on the feasibility for reconstructing paleo-environment using the mangrove spore-pollen-climate factor transfer function [J]. Advance in Marine Science, 2002, 20(3): 73-78]
- 3 Matiu Prebble Marc Schallenberg John Carter et al. An analysis of phytolith assemblages for the quantitative reconstruction of late Quaternary environments of the Lower Taieri Plain, Otago, South Island, New Zealand. Modern assemblages and transfer functions [J]. Journal of Paleolimnology, 2002, 27(4): 393-423
- 4 Fredlund G G, Bousman C B, Boyd D K. The Holocene phytolith record from Morgan Playa in the Rolling Plains of Texas [J]. Plains Anthropologist, 1998, 43(164): 187-200
- 5 吴乃琴, 吕厚远, 孙湘君, 等. 植物硅酸体—气候因子转换函数及其在渭南晚冰期以来古环境研究中的应用 [J]. 第四纪研究, 1994, 14(3): 270-277 [Wu Naiqin Lv Houyuan Sun Xiangjun et al. Climate transfer function from opal phytolith and its application in paleoclimate reconstruction of China Loess-paleosequence [J]. Quaternary Sciences, 1994, 14(3): 270-277]
- 6 罗汉民, 阎秉耀, 吴诗敏, 等编. 气象学 [M]. 北京: 气象出版社, 1986: 133-181 [Luo Hanmin Yan Bingyao Wu Shimin et al. Aerography [M]. Beijing: Weather Press, 1986: 133-181]
- 7 张超, 马娉琦. 地理气候学 [M]. 超星图书馆, 1989. SS 号: 10122952 263-265 [Zhang Chao Ma Pinqi. Geo-aerography [M]. www.ssreader.com, 1989. SS number 10122952 263-265]
- 8 柴岫. 泥炭地地学 [M]. 北京: 地质出版社, 1990: 2-3 [Chai Xi Peatland [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 2-3]
- 9 武吉华, 张绅. 植物地理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1995: 178-182 [Wu Jihua Zhang Shen Geobotany [M]. Beijing: Higher Education Press, 1995: 178-182]
- 10 Powers A H, Padmore J, Gilbertson D D. Studies of late prehistoric and modern opal phytolith from coastal sand dunes and machair in north west Britain [J]. Journal of Archaeological Science, 1989, 16: 27-45
- 11 Beau T Hansen Mark G Plew, Martin Schimpf. Elucidation of size patterning in phytolith assemblages by field-flow fractionation [J]. Journal of Archaeological Science, 1998, 25: 349-357
- 12 Marco Madella, Alex H Powers-Jones, Martin K Jones. A simple method of extraction of opal phytoliths from sediments using a non-toxic heavy liquid [J]. Journal of Archaeological Science, 1998, 25: 801-803
- 13 Boyd W E, Lentfer C J, Torrence R. The archaeological palynology of wet tropics volcanic ash deposits: methodological issues and preliminary results from prehistoric WNB, P. N. G. [J]. Palynology, 1998, 22: 213-228
- 14 Lentfer C J, Boyd W E. An assessment of techniques for the deflocculation and removal of clays from sediments used in phytolith analysis [J]. Journal of Archaeological Science, 1999, 26: 31-44
- 15 Parr J F. A comparison of heavy liquid flotation and microwave digestion techniques for the extraction of fossil phytoliths from sediments [J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 2002, 120: 315-336
- 16 Madella M, Alexandre A, Ball. International code for phytolith nomenclature [J]. Annals of Botany, 2005, 96: 253-260
- 17 王永吉, 吕厚远. 植物硅酸体研究及应用 [M]. 北京: 海洋出版社, 1992: 48-118, 142-164 [Wang Yongji Lv Houyuan. The Study of Phytolith and Its Application [M]. Beijing: China Ocean Press, 1992: 48-118, 142-164]
- 18 张新荣, 胡克, 方石, 王东坡. 东北地区泥炭表层沉积中植硅体分布特征 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2007, 37(5): 895-900 [Zhang Xinrong Hu Ke Fang Shi Wang Dongpo. Phytolith distribution in the surface Peat deposit of Northeast China [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(5): 895-900]
- 19 刘顺忠, 著. 数理统计理论、方法、应用和软件计算 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005: 156-164 [Liu Shunzhong. Theory, Methods, Application and Software Calculation of Mathematic Statistics [M]. Wuhan: Press of Huazhong University of Science and Technology, 2005: 156-164]
- 20 Zheng Jingyun, Zhang Piyuan, Ge Quansheng et al. Centennial changes of drought/flood spatial pattern in eastern China for the last 2000 years [J]. Progress in Natural Science, 2001, 11(4): 280-287
- 21 施雅风总主编, 张丕远本卷编. 中国历史气候变化: 中国气候与海面变化及其趋势和影响 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1996: 195-437 [Shi Ya-feng chief editor, Zhang Piyuan editor. Historical Climate Changes in China: Tendency and Influence of Climate and Oceanic Changes of China [M]. Jinan: Shandong Technology Press, 1996: 195-437]
- 22 竺可桢. 竺可桢文集 [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 479-498 [Zhu Kezhen. Zhu Kezhen Corpus [M]. Beijing: Science Press, 1979: 479-498]
- 23 满志敏. 关于唐代气候冷暖的讨论 [J]. 第四纪研究, 1998, 26(4): 348-353 [Man Zhimin. Discussion on the cold or warm in Tang dynasty [J]. Quaternary Sciences, 1998, 26(4): 348-353]
- 24 洪业汤, 姜洪波, 洪冰等. 近六千年地表温度和太阳变化的高分辨率记录对比研究 [J]. 中国科学技术期刊文献 (科技快报), 1999, 5(2): 1521-1522 [Hong Yetao, Jiang Hongbo, Hong Bing et al. Contrast research between temperature of the earth surface and high resolution records of the solar changes since 6000aB. P. [J]. Journals of Chinese Technology (Technology News), 1999, 5(2): 1521-1522]

Construction and Application of Phytolith-climate Transfer Function in Peat Surface Deposits of Northeast China

ZHANG Xin-rong^{1,2} HU Ke³ FANG Shi¹ WANG Dong-po¹ ZHENG Hongbo²

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061;

2. State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092;

3. College of Oceanography, China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract On the basis of phytolith assemblages from peat surface deposits and some climate indexes, a transfer function of phytolith-climate in Northeast China is established by means of factorial analysis and stepwise regression. Using the function, paleo-climate parameters of Yunshu peat profile were calculated and the paleo-climate evolution is then divided into 7 stages: warm-cold-warm-cold-warm-cold-warm. The reconstructed curves also show that the changes of paleo-annual wind speed might indicate the following changes of paleo-temperature and paleo-precipitation, and the warm and wet climate always corresponds with a stable climate system.

Key words Phytolith, transfer function, peat deposits, paleo-climate, Northeast China

《沉积学报》网站开通公告

《沉积学报》编辑部网站即日起正式开通,网址为: www.cjxb.ac.cn。本网站具编辑部办公管理,作者在线投稿、在线查询,专家远程审稿,过刊浏览等现代化办公管理模式,欢迎大家访问并提出意见和建议。

作者投稿请登录 www.cjxb.ac.cn 注册后进行在线投稿(注:请记好自己的用户名和密码,便于查询稿件编辑录用情况,请准确提供 E-mail 地址,稿件收到后会根据此邮箱发放收件通知、录用通知及版面费收费通知等)。现接收 WORD 和 PDF 格式的电子文件,图件(最好为 corel+draw 格式)以附件的形式上传,具体操作请按提示进行。本网站目前还处于试用阶段,如在使用过程中遇到什么问题,请及时与编辑部联系。

《沉积学报》编辑部稿件管理系统现在为试用阶段,作者仍可采用以往的投稿方式,也可使用新的投稿管理系统投稿。感谢您对本刊的支持!

《沉积学报》编辑部

2008-06-30