腾格里沙漠南缘全新世古气候变化初步研究

张虎才 马玉贞 * 李吉均 B. Wuennemann ④

(兰州大学地理科学系,兰州 730000; ④Geomorphologisches Laboratorium der Freien Universit•t Berlin, 14195. * 联系人)

摘要 通过对腾格里沙漠南缘红水河剖面的地层分析和年代序列建立,依据分辨率40~ 50 a的TOC、TIC、元素和稳定同位素($\delta^{18}O$)分析及孢粉分析,重建了腾格里沙漠南缘过渡区全新世8 000~ 3 000 aBP期间的古气候演变序列. 结果显示,(7 980)~ 6 870 aBP气候变化特点为具振荡性的升温期,且尤以7 410~ 6 870 aBP最为明显;6 870~ 4 620 aBP为高温期,并可分为6 620~ 5 770 aBP温暖而湿润的第1高温期和5 360~ 5 130 aBP以干热为特征的第2高温期. 在5 880~ 5 360 aBP,即两个高温期之间,气候曾发生持续干化,温度有3次波动降低. 第1高温期可被视为本区全新世气候适宜期. 5 130~ 4 620 aBP温度有所降低,但湿度增加,并在4 830~ 4 790 aBP存在一强降温事件,预示着全新世高温期的衰减;4 620 aBP开始为降温期并在4 620~ 4 320, 4 010~ 3 590和3 270~ (3 110) aBP出现3次分别与高山冰进相关的低温期.

关键词 腾格里沙漠 全新世 古气候

干旱区河湖相地层中蕴藏着丰富的气候变化信息,这里极端的自然条件,沉积连续的剖面敏感的记录着环境变化的历史. 位于腾格里沙漠南缘的红水河剖面是该区出露最好的一条剖面,为开展古气候重建提供了良好的条件.

1 研究区概况及方法

腾格里沙漠南缘武威、民勤一带,北接沙漠、东南临黄土高原、西南为高山(高原)区,位于

32 Arkani-Hamed J, Strangway D W. Lateral variation of apparent magnetic susceptibility of lithosphere deduced from Magsat data. Journal of Geophysical Research, 1985, 90: 2 655~ 2 664

33 Wasilewski P J, Thomas H H, Mayew M A. The Moho as a magnetic boundary revisited. Geophysical Research Letters, 1992, 19: 2 259~ 2 262

34 Percival J A, West G F. The Kapuskasing uplift: a geological and geophysical synthesis. Can J Earth Sci, 1994, 31: 1 256~ 1 286

35 Warner R D, Wasilewski P J. Magetic petrology of lower crust and upper mantle xenoliths from McMardo Sound, Antarctica. Tectonophysics, 1995, 249: 69~ 92

36 Wasilewski P J. Magnetic properties of mantle xenoliths and the magnetic character of the crustmantle boundary. In Nixon P H, ed. Mantle Xenoliths. New York: John Wiley & Sons, 1987. 577~ 588

37 Robion P, Kissel C, Frizon de Lamotte D, et al. Magnetic mineralogy and metamorphic zonation in the Ardennes Massif of France and Belgium. Tectonophysics, 1997, 271: 231~ 248

38 Bohlen S R, Mezger K. Origin of granulite terranes and the formation of the lowermost continental crust. Science, 1989, 244: 326~ 329

39 Dunlop D J. Magnetism in rocks. Journal of Geophysical Research, 1995, 100: 2161~ 2 174

40 Ramachandran C. Metamorphism and magnetic susceptibilities in South Indian Granulite Terrain. Journal Geologcal Society of India, 1990, 35: 395~ 403

(1997-09-08收稿, 1998-01-23收修改稿)

中国西部干旱荒漠区、东南干旱半干旱区与西南高山高原寒冷区交合部位, 对气候变化反应敏感, 是探讨区域性乃至全球性气候变化与记录的理想部位. 红水河剖面位于武(威)_民(勤)公路红水河桥东侧(38°10′46″N, 102°45′53″E), 海拔高度约 1 460 m, 年均气温为 7.8 ℃, 年降水量约 140 mm, 属于大陆性干旱气候. 红水河(又称洪水河)实质上为武威洪积扇前缘与沙漠过渡区因河湖相地层泉水出露而形成的一条北北西向河流, 该河流在营盘坡附近注入本区干流石羊河. 由于东北部沙丘的移动和泉水溢出与河水的不断侵蚀, 在红水河桥附近形成出露有向东绵延 10 余公里的天然剖面, 可以作为本区的一个典型剖面(图 1).

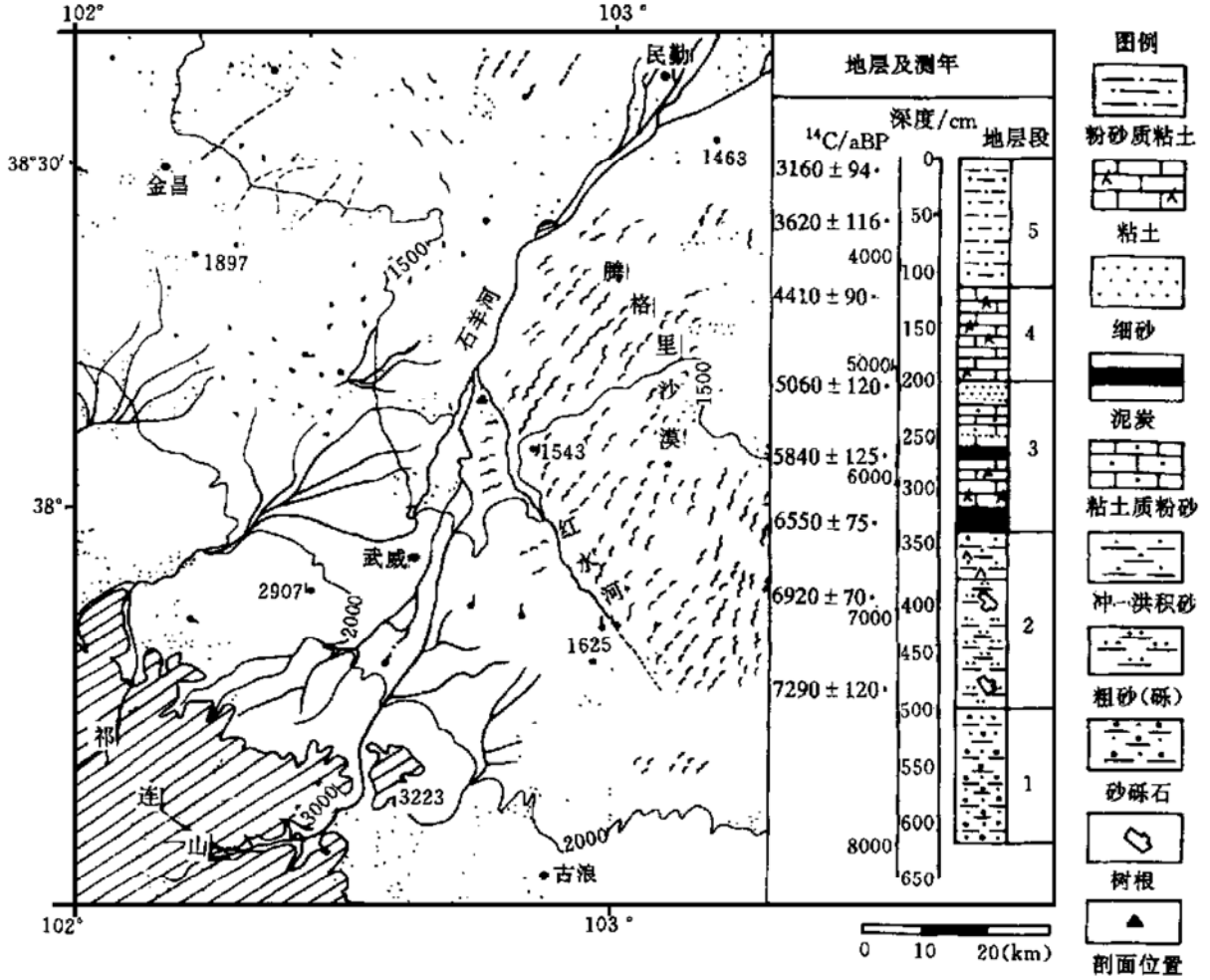


图 1　红水河剖面地理位置及地层剖面

红水河剖面厚 6.2 m, 出露十分稳定且可长距离追索. 岩性明显分为 5 段, 自下而上为: 第 1 段　6.20~ 5.00 m, 为以石英质为主的冲洪积相砂砾石层, 斜层理、交错层理明显; 第 2 段　5.00~ 3.35 m, 为冲洪积相粗砂夹砾石层, 层理发育并有粉砂质粘土球, 有直径 8~ 12 cm 的树根; 第 3 段　3.35~ 1.98 m, 下部为富含植物根系的粉砂质粘土, 向上过渡为粘土质粉砂至本段上部 2.25~ 1.98 m 的细砂层, 其中在 3.35~ 3.20 和 2.74~ 2.68 m 为两层泥碳层; 第 4 段　1.98~ 1.10 m, 由富含 $CaCO_3$ 的灰白色湖相沉积组成, 含有淡水腹足类化石; 第 5 段　1.10~ 0 m, 为水成粘土质粉砂与粉砂质粘土层, 物质组成均一, 变化不大.

对该剖面 6.20~ 5.00 m 以每 10 cm 为间距采样, 5.00~ 0.0 m 以每 5 cm 为间隔连续采样, 共对 101 个样品进行了地球化学测试和环境指标分析, 同步进行孢粉分析, 并密集的测定

了样品有机质^{14}C 年代, 其测年结果如表 1.

通过深度_年代相关分析可知, 它们具有相关系数达 0.992 的二次相关, 考虑到地层情况及采样间距, 可以认为该剖面无沉积间断, 分析结果可提供理论分辨率达 40~ 50 a 的气候变化信息. 本文对红水河剖面所揭示的气候环境做以综合报道.

表 1 红水河剖面有机质^{14}C 测年数据

深度/ cm	7.5	57.5	122.5	127.5	192.5	277.5	325	400	475
年代/ aBP	3 160 ±94	3 620 ±116	4 410 ±90	4 520 ±122	5 060 ±120	5 840 ±125	6 550 ±75	6 920 ±70	7 290 ±120

2 地球化学分析结果及环境指标

本研究用 ICP 对剖面 Al, Fe, Ca, Sr, Mg, Mn, P(PO_4), K 和 Na 等元素含量进行了分析; 利用常规方法测定了总有机碳(TOC) 和 $CaCO_3$($CaCO_3$+ Ca(Mg)$(CO_3)_2$) 含量; 利用过饱合磷酸法测定了粘粒级 $CaCO_3$ 的 $\delta^{18}O$, 结果如图 2.

通过深入分析, 用 $CaCO_3$ 含量及 $CaCO_3$ 相关元素 Ca, Sr 和 Mg 作为水动力状态、水深及水性质的代用指标; TOC 代表生物生产量进而指示温度与湿度配置状况参数; 活泼元素 Fe 变化反映介质 Eh-pH 变化参数; 元素 Al 主要与粘土矿物类型有关, 代表风化作用强度[1], 粘粒 $CaCO_3$ 的 $\delta^{18}O$ 代表温度变化参数, 且当 $\delta^{18}O$ 值降低时, 温度升高, 反之, 温度降低, 进行古气候重建(关于气候环境参数的选择及详细讨论将有专文叙述)[1)]

3 孢粉分析结果

根据孢粉种属和孢粉浓度在剖面上的变化, 自下而上可划分出 9 个孢粉组合带(因本文篇幅有限, 关于孢粉研究的详细结果将另有专文讨论)[2)].

Z_1 7 980(剖面底部) ~ 7 410 aBP, 该带中孢粉浓度低, 旱生草本植物占绝对优势, 且以蒿属(*Artemisia*)和藜科(*Chenopiaceae*)为主, 植被为干草原, 反映气候干旱.

Z_2 7 410~ 6 870 aBP, 孢粉浓度较高, 旱生植物含量相对下降, 水生植物香蒲(*Typha*)大增, 但不稳定, 并含有一定量的针叶树、阔叶树和灌木, 植被类型为草原, 反映该期湿度明显增加, 气候较温湿且呈强波动之势.

Z_3 6 870~ 5 880 aBP, 该带中孢粉浓度高, 植物种类丰富, 层次多样, 水生植物含量高且稳定, 旱生植物含量进一步下降, 针叶树、温带阔叶树和灌木含量上升, 植被类型为林缘草原, 反映气候较温暖湿润, 其中以 6 620~ 5 880 aBP 最为明显, 可认为是该剖面中记录的气候最宜期.

Z_4 5 880~ 5 680 aBP, 孢粉浓度高, 针叶树含量大增, 且以云杉(*Picea*)为主, 气温下降, 代表了中全新世一强降温事件.

Z_5 5 680~ 5 080 aBP, 孢粉浓度低, 旱生草本植物大增, 含有一定量的藜科, 零星分布有水生植物, 植被类型为草原, 反映气候温干.

Z_6 5 080~ 4 580 aBP, 孢粉浓度低, 针叶树含量大增, 主要由松(*Pinus*)和云杉组成, 含

1) 张虎才. 全新世河湖相沉积地球化学特征及气候变化记录 ——以腾格里沙漠南缘红水河剖面研究为例, 1997

2) 马玉贞. 腾格里沙漠南缘红水河剖面孢粉组合与全新世气候变化, 1997

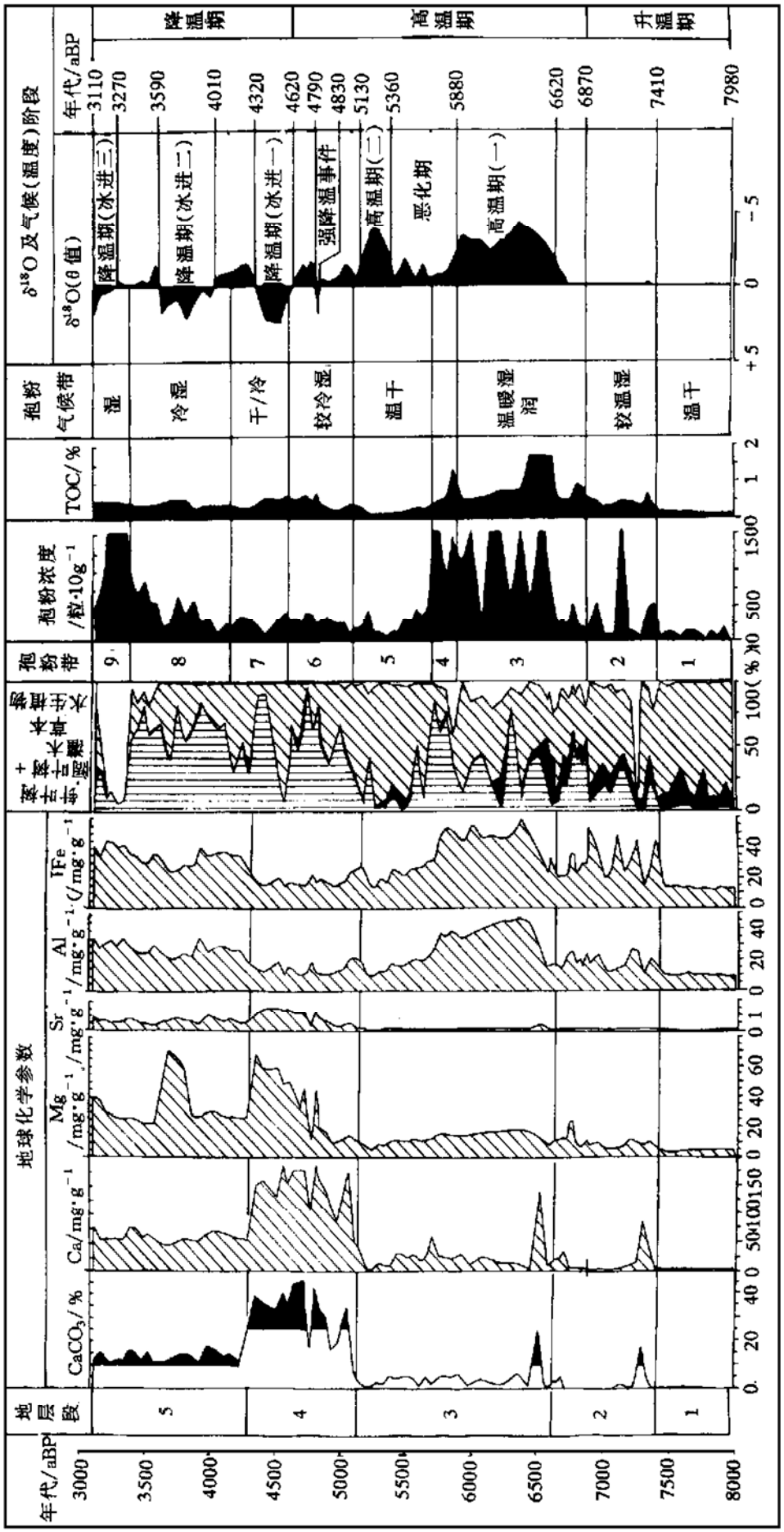


图 2　红水河剖面综合参数及气候阶段划分

一定量的草本植物, 植被类型为针叶林, 指示温度比前期有所降低, 气候相对较为冷湿.

Z_7 4 580~ 4 140 aBP, 孢粉浓度低, 干草原和针叶林交替出现, 反映气候干/冷波动强烈.

Z_8 4 140~ 3 370 aBP, 孢粉浓度较低, 植被为针叶林, 反映气候较冷湿.

Z_9 3 370~ 3 110 aBP(剖面顶部), 水生植物香蒲含量大增, 占 80%, 反映湿度较前期明显增加.

4 腾格里沙漠南缘全新世古气候重建

通过对红水河剖面地层分析、年代序列建立, 元素含量、TOC 和 $CaCO_3$ 含量分析及粘粒级中 $CaCO_3$ $\delta^{18}O$ 测定及孢粉分析, 重建的腾格里沙漠南缘过渡区气候变化过程如下:

(7 980 aBP, 研究剖面底)~ 6 870 aBP 为升温期. 其中又可分出两部分, 7 410 aBP 以前地层以洪积_冲积相为主, 颗粒较粗, 物质组成以石英质为主, $CaCO_3$ 和 TOC, 元素 Ca, Sr 和 Mg 含量接近或为零, 元素 Al 和 Fe 含量较低, 分别仅为 10 mg/g 和 15 mg/g 左右, 变化极微. 表明该时期湿度很低, 植被缺乏, 生物活动量极小, 相当于以蒿、藜为主的第 1 孢粉带, 气候偏温干; 7 410~ 6 870 aBP 期间地层由冲积相过渡到浅水相沉积, $CaCO_3$ 和元素 Ca, Sr 含量除局部有增加外, 接近于零, 元素 Mg 含量有所增加, 元素 Fe, Al 及 TOC 含量逐渐增加且呈强波动之势, 不同地层段最小值还是最大值, 均有增大, 对应于第 2 孢粉带, 反映该时期湿度增加、温度强烈波动的气候变化特点.

6 870~ 4 620 aBP 为本区全新世高温期. 地层变化明显, 下部为第 2 段上部地层, 中、上部包括两个由碳质层过渡到湖相沉积层的旋回, 向上变为粉砂质粘土至细砂层, 然后再出现湖相沉积. 从图 2 可以明显看出, 在细砂层及其以下的地层中, $CaCO_3$ 和元素 Ca, Sr, Mg 含量除局部有所增加外均较低, 而元素 Al, Fe 及 TOC 含量在此段下部均达最高值(分别达 48 mg/g, 58 mg/g 和 15.4%), $\delta^{18}O$ 值最小为– 10.3‰. 此段包括了第 3, 4, 5 和 6 孢粉带, 变化十分明显而具有特点. 根据这些特征及 $\delta^{18}O$ 值的变化可进一步将全新世高温期划分为以下几个特征时期: 在 6 870~ 6 620 aBP 有一个显著的温度增加期, 之后, 出现了 6 620~ 5 880 aBP的第 1 高温期, 或气候适宜期, 地层由上、下两层碳质层和中间的湖相层构成, 有机质含量、元素 Al 和 Fe 含量均达最高值, $\delta^{18}O$ 值最低, 气候温暖而湿润; 5 880~ 5 360 aBP 期间, 地层由静水湖沼相粉砂质粘土变为浅湖相粘土质粉砂, 元素 Al, Fe 含量及 TOC 含量降低, $\delta^{18}O$ 值有所增高, 且变化较大, 反映温度有所降低, 形成 3 次相对低温期, 且变得相对较为干燥, 其中值得注意的是, 对应于最早一次降温的孢粉带 4 显示是一强降温期. 5 360~ 5 130 aBP 为第 2 高温期, 地层由水下沉积风成细砂构成, 是沙区扩展, 环境恶化的地质证据. $\delta^{18}O$ 值低且较稳定, 指示该时段是一高温期, 这个时段与以蒿属及藜科为主的第 5 孢粉带上部对应, 气候暖干; 5 130~ 4 620 aBP 形成稳定的湖相沉积, 有机质含量有所增高, $\delta^{18}O$ 值相对第 2 高温期偏高, 指示温度比前期有所降低, 孢粉组合为一以松和云杉为主的针叶林, 指示温度降低, 湿度有所增加, 气候较冷湿, 在 4 830~ 4 790 aBP 存在一强降温事件, 预示着全新世高温期的衰减.

4 620~ 3 110 aBP(剖面顶)为降温期. 就本剖面所记录的气候信息来看, 有 3 次持续时间较长、降温幅度较大的时期, 时代分别为 4 620~ 4 320, 4 010~ 3 590 和 3 270~ 3 110 aBP.

这一时期, 与第 7, 8, 9 孢粉带对应, 形成干/冷、冷湿、湿的气候格局.

5 讨论

(1) 随着研究工作的深入, 人们已普遍接受了全新世三分的概念, 即早全新世的升温期(Anathermal)、中全新世高温期(Hypsithermal) 或大暖期(Megathermal) 和晚全新世的降温期(Katathermal). 但是, 在跨时仅有 10 ka 的时段内, 对全新世三阶段时代的划分却存在明显分歧. 例如: 全新世高温期的划分开始于 10 000~ 7 500 aBP, 终止于 5 000~ 2 000 aBP[2], 相差范围达 2.5~ 3 ka. 有些学者则把以温度为主要指标划分的全新世三阶段与以温度与湿度最佳配置而划出的以生物气候条件为特征的"气候适宜期"等同起来, 使全新世划分的时代与名称更为复杂[3,4]. 除此而外, 划分所依据指标(如孢粉、冰芯 $\delta^{18}O$ 等) 的不同、研究剖面气候信息的代表性、记录的完整性及特殊气候环境事件本身的穿时性[3,5]也是造成这些差异的重要因素. 本文讨论中, 仍采用三分法, 对特殊变化作为次级气候事件处理.

(2) 红水河剖面中, 全新世高温期起迄时代除前述划法外, 也可以在"包含了一些冷波动和在水分热量搭配上的气候不良波动"[2]的情况下, 划出一个 7 400~ 4 010 aBP 的全新世"广义大暖期". 这个时代界限与内蒙中部一致, 而比东北、华北地区开始较晚、结束较早[6~8]. 重建的古气候变化历史, 揭示出全新世气候变化格局与其他地区的一致性, 但也存在细节上明显的差别, 而这些差别, 则是红水河剖面所处地理位置对气候变化敏感性和剖面具有高分辨率信息记录的表现, 反映了深居内陆的研究区受亚洲季风和西风环境两大系统控制及大地形影响的结果. 大暖期中的"最宜期"6 620~ 5 880 aBP, 最高温出现在 6 290 aBP, 并在 6 060 aBP 有降温趋势. 5 880~ 5 360 aBP 期间, 气候不但有变干趋势, 而且具明显降温, 并在 5 660, 5 560和 5 380 aBP 出现 3 次降温. 这 3 次降温, 在高山区可与敦德冰芯记录的 3 次降温事件进行对比, 其中 5 880~ 5 680 aBP 第 4 孢粉带显示出降温可能与杨子庚、洪雪晴认为该时段华北、华东的降温事件对应, 并与中国西部天山天格尔地区 5 700~ 5 530 aBP 的冰进相关[9,10], 与 Denton(1973) 称 5 800 aBP 前后第 2 新冰期可以比较, 是全新世大暖期中一气候波动剧烈、环境较差的时期[2]. 中全新世大暖期强烈的气候变化, 可能对人类文明的发展产生重大而深远的影响. 在 5 360~ 5 130 aBP 期间, 出现全新世大暖期中第 2 次高温期, 地层特点及其他地球化学参数显示这是一个干热时期, 红水河剖面孢粉资料揭示, 该时期植被以蒿属及藜科为主, 与中国北方现代花粉气候响应面分析结果一致[11]. 因此, 可以认为, 5 360~ 5 130 aBP 这段时期为一干热时期, 是全新世第 2 高温期. 5 130~ 4 620 aBP, 虽然温度较前期有明显降低, 但湿度却有所增加, 出现于 4 830~ 4 790 aBP 短暂的强降温事件标志着全新世大暖期的衰减, 是 4 620~ 4 320 aBP 降温的前奏. 在 4 320~ 4 010 aBP 气温略有回升, 湿度也有所增加, 形成一个相对较为温湿的时期. 4 010~ 3 590 aBP 出现又一次降温, 这次降温可与中国西部高山区 4 100~ 3 950 aBP 的冰进, 如古里雅冰帽 3 983 ±120 aBP 冰进对比[12]. 虽然 3 590 aBP 之后有一极为短暂的温度回升, 但又迅速降低, 于 3 270 aBP 进入又一低温期. 这次降温可与新冰期 3 100~ 2 500 aBP 高山冰进对比. 之后, 研究区荒漠化加剧, 腾格里沙漠强烈扩张.

致谢 施雅风先生对本研究一直给予热情支持、鼓励, 并审阅了初稿, 在此特表衷心感谢. 本工作为国家自然科学基金(批准号: 49371067)、国家教委及甘肃省自然科学基金资助项目.