

文章编号: 1000-0550(2000)04-0646-05

西北干旱区石羊河流域 末次冰期晚期气候不稳定性记录^①

张成君¹ 陈发虎¹ 王琪² 施祺¹ 孙维贞³

1(兰州大学资源环境学院 兰州 730000) 2(中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000)

3(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 兰州 730000)

摘要 通过对我国西北干旱区石羊河流域三角城末次冰期最盛期晚期—晚冰期地层剖面沉积物中有机质碳同位素分析,表明在季风边缘带的沉积地层中较详细地记录了这一时期气候快速颤动,发生千年至百年尺度的冷干—温湿变化,高分辨的有机质碳同位素组成与 GRIP 氧同位素组成有较好的可比性,表明与全球古气候变化有明显的联系,也反映在末次冰期最盛期与晚冰期过渡期气候温湿,陆地植被比较发育,可能与东亚季风有关。有机质碳同位素这一指标对气候记录较敏感,是重建干旱区高分辨古气候演化模式十分有效的手段,在季风交汇带能灵敏地记录到气候快速变化。

关键词 石羊河流域三角城 末次冰期晚期 有机质碳同位素

第一作者简介 张成君 男 1966 年出生 博士后 环境地球化学

中图分类号 X142 **文献标识码** A

对于末次冰期—间冰期的 YD 事件、DO 事件及 Heinrich 事件等周期气候快速波动的现象在格陵兰冰芯、北大西洋沉积物^[1,2]、佛罗里达州湖泊沉积物^[3,4]及湖泊中微体古生物^[5]、智利安第斯冰碛物^[3]、中国古里雅冰芯^[6]、黄土沉积物^[7]等中均有发现,表明末次冰期以来气候转换期的气候快速振荡变化具有全球性,虽然末次间冰期以来的气候的频繁振荡变化的原因目前还没有完全清楚,但气候不稳定性对深刻认识短周期的气候变化以及预测未来的气候变化具有重要意义。我国西北干旱区位于东南夏季风、西南季风、高原季风与西风急流的过渡地带,是自然地理景观脆弱带,微弱的气候变化均能被沉积物记录,尤其是湖泊沉积物记录了高分辨的古气候变化。因此对干旱区湖泊沉积物中记录的过渡带气候变化形式及特征的分析了解,有助于探讨在该区末次冰期古气候的变化形式以及气候变化时候所具有的全球性。

1 地层及样品

石羊河流域位于河西走廊东端,地理坐标 100°57'~104°57'E, 37°02'~39°17'N,流域全长约 300 km,处于我国西北内陆干旱区与东部季风的交汇过渡地带,石羊河流域与青藏高原毗邻,大气环流和气候特征受青藏高原影响。冬季,受蒙古—西伯利亚高压控制,流

域盛行冬季风,气候寒冷干燥;夏季,青藏高原的热力作用增强,形成了高原夏季风。

三角城位于石羊河流域东北端民勤县红沙梁乡西部,属石羊河古尾间湖的边缘地区。反映末次盛冰期—间冰期转换带的地层大约在 420~712 cm,地层厚度约 292 cm,自上而下岩性为:

420~532 cm:青灰色粉砂

534~544 cm:灰棕色粉砂质粘土

546~562 cm:棕黄色粉砂质粘土,夹三层黄色细砂

562~600 cm:棕黄色粉砂质粘土

600~720 cm:灰黄色细砂,风成沉积

¹⁴C 测年样品主要采集富有机质的粘土,从地表向下分别在 130~188 cm,年代为(3 660±95)a.B.P., 168~176 cm 为(3 930±60)a.B.P., 266~272 cm 为(6 400±75)a.B.P., 310~316 cm 为(7 860±135)a.B.P., 340~350 cm 为(8 140±140)a.B.P., 365~375 cm 为(10 700±260)a.B.P., 532~552 cm 为(14 790±250)a.B.P. 和 570~590 cm, (15 750±450)a.B.P.。每间隔 2 cm 采集沉积物中有机质碳同位素、碳酸盐、有机碳和粒度样品,根据测年与沉积物厚度估计每 2 cm 间隔的沉积物可以达到百年尺度以内的分辨率,可以建立百年尺度的高分辨气候演化模式。

① 国家自然科学基金(批准号:40041004)和国家重点基础研究发展规划项目(批准号:G1999043501)资助

2 样品分析

样品中碳酸盐采用化学分析方法,有机碳含量采用烧失法,粒度采用 Malvern-Mastersizer 2000 粒度仪分析。沉积物中有机质碳同位素组成采用质谱法,先用稀盐酸处理研磨后的沉积物样品,然后用蒸馏水反复冲洗至没有盐酸残留为止。在 100 °C 左右的烘箱中烘干,处理后的沉积物样品在 800 °C 左右的氧气中燃烧,有机质氧化生成的 CO₂ 在真空系统中收集,然后在 MAT-252 质谱仪上分析,样品分析结果以 PDB 值表示,

$$\delta^{13}\text{C} = (R_{\text{样}} - R_{\text{标}}) / R_{\text{标}} \times 1000\text{‰}(\text{PDB})$$

分析误差小于 ±0.1‰。样品分析在中国科学院兰州寒区旱区环境与工程研究所冰芯与寒区环境开放实验室完成。

3 年代测定

本文样品的年代分析是选取有机质含量较高的沉积物进行,采用常规的液体闪烁记数法测定的。从地层岩性观察明显可见,末次冰期晚期地层较厚,三角城全新世地层界线大约在 410 cm 处,约 10 000a.B.P.,末次冰消期地层界线在大约 602 cm 处,年代约 13 000a.B.P.。根据三角城年代测定资料(图 1)所示结果,将各测年点进行线性拟合校正,末次冰期一间冰期转换带的年代拟合校正结果,可能反映了在西北干旱区季风交汇带的气候转换期事件的年代值,这也反映了如果有较精确的年代数据,则可以更准确地重建转换期气候演化历史,而且要以与全球在这一时期气候快速颤动事件相比,对了解西北干旱区末次冰期气候变化的原因有较大帮助。

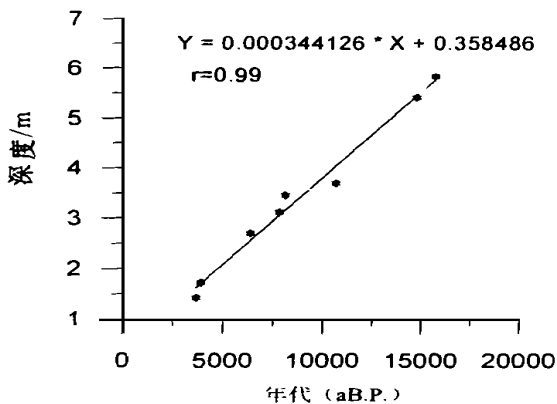


图 1 三角城剖面¹⁴C 年代与地层深度的线性关系分析

Fig. 1 The linear relation of ¹⁴C age and depth in the section of Sanjiaocheng Profile

4 δ³C 古环境指标

黄土、古土壤及风成等陆相沉积物中有机质主要来源于陆生 C₃、C₄ 和 CAM 植物,而湖泊沉积物中不仅有陆生的 C₃、C₄ 和 CAM 植物,而且有湖泊内源的沉水植物、挺水植物以及藻类等。尤其在干旱区的内陆湖泊,内源的水生植物对沉积物中有机质的贡献远大于外源植物。由于光合作用固定大气 CO₂ 的途径不同,C₃、C₄ 和 CAM 植物有不同的碳同位素组成,陆源 C₃ 植物的 δ³C 值分布在 -24‰~-37‰之间,C₄ 植物的 δ³C 值为 -9‰~-19‰范围^[8]。CAM 植物的 δ³C 值变化范围较宽,介于 C₃、C₄ 植物之间,随环境不同而变化,主要生长于干旱区沙漠环境。由于不同气候条件可能影响植物光合作用的途径,在低温条件下,C₃ 和 C₄ 类植物的光合作用强度基本接近,温度增高则 C₄ 植物的光合作用强度升高。不仅温度对植物光合作用途径产生影响,而且湿度是植物光合作用固碳差异的一个重要因素。C₄ 类植物适合生长于高温偏干的气候条件,C₃ 类植物生长于暖湿条件,CAM 植物生长于较干旱的环境。从植物分布看,C₃ 植物种类多,分布广,而 C₄ 和 CAM 植物则种类少,分布受限制。但在一定的地区,如我国的西北干旱区,C₄ 和 CAM 植物比例有所上升,而在沙漠区则主要以 CAM 植物为主。

石羊河流域三角城地区末次冰期晚期剖面主要以陆相河流和风成沉积为主,因此沉积物中有机质以 C₃、C₄ 和 CAM 植物为主。沉积物中碳同位素组成反映古气候变化主要是 C₃、C₄ 和 CAM 植物在不同的古气候下的分布,利用 δ³C 作为古气候指标必须明确沉积物中有机质的来源。张平等^[9]对青藏高原若尔盖 RH 孔湖相沉积物中有机质分析表明主要以陆相 C₃、C₄ 植物来源为主,有机质碳同位素组成 δ³C 偏轻代表了暖偏湿的环境,δ³C 偏正为冷干环境。三角城剖面沉积物的有机质来源与若尔盖 RH 孔湖相沉积物中有机质来源相似,因此利用 δ³C 与古气候的关系可以确定三角城剖面在末次冰期晚期的古气候特征。三角城剖面干冷气候下形成的风成细砂层对应的有机质碳同位素组成偏重,也说明了陆相来源的有机质 δ³C 偏重代表了冷干环境。按以上有机质 δ³C 的特征,我们对石羊河流域三角城剖面在末次冰期晚期转换带的古环境特征进行分析,了解古气候变化特征及与全球气候变化的关系。

5 古环境特征

对三角城末次冰期最盛期晚期地层进行粒度分

析, 由于不同成因的碎屑物具有不同的结构参数, 对粒度参数综合评价能较好地反映出古环境的特征。图2是三角城粒度参数离散图, 从图中可以明显反映出碎屑物由粉砂和细砂组成, 细砂峰态极窄, 粉砂峰态较宽。从偏度(Sk)对标准偏差(σ)的离散图2(c)反映了碎屑物主要来源于河流和风成沉积, 而没有湖相沉积物的特征。根据对峰态与偏度以及偏度与分选性综合评价, 反映出粉砂和细砂为两种不同成因的沉积碎屑物。细砂粒度参数特征为分选中等, 不对称双峰, 极窄峰, 极正偏, 为风成砂的特征^[10]。粉砂为分选差, 不对称双峰, 窄—宽峰, 以正偏为主, 有负偏, 代表了河流砂的特征。细砂的表面形态分析也有类似的现象, 从于三角城相邻的野麻湖相同层位细砂的电镜扫描分析细砂表面有大量的圆形—椭圆形冲击凹坑, 为典型风成沉积。

分析表明三角城在末次冰期最盛期晚期仍是以河流为主, 其间夹有风砂沉积的古环境。沉积物中有机质取决于陆生植物的发育情况, 在气候比较温湿时流域内植被可能较发育, 沉积物中有机质含量相对较高,

有机质碳同位素组成相对偏轻; 在气候干冷期, 沉积物中有机质相应地减少, 有机质碳同位素组成相对偏重。

6 三角城末次冰期晚期气候特征

根据沉积物中有机质碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 特征, $\delta^{13}\text{C}$ 偏轻代表气候暖偏湿, 而 $\delta^{13}\text{C}$ 偏重代表冷干气候环境^[9]。石羊河流域三角城剖面的有机质碳同位素组成分析结果表明, 在末次冰期最盛期晚期和晚冰期气候阶段总体上以干冷气候为背景下有暖偏湿的气候发生(图3)。根据年代资料及有机质碳同位素组成可以5.7米左右为界分为晚冰期和末次冰期最盛期晚期二个阶段。

6.1 晚冰期

在5.7 m左右有三层风成沉积, 时间大约为15 500 aB.P., 以上地层为晚冰期, 在此阶段有机质碳同位素组成总体偏重, 表明气候主要以冷干为主, 有较小幅度的快速变化。碳酸钙和有机质主要由河流带入, 与植被有密切关系, 在气候较适宜时, 植被和流水同步增长, 反映出碳酸钙与有机质有较好的正相关关

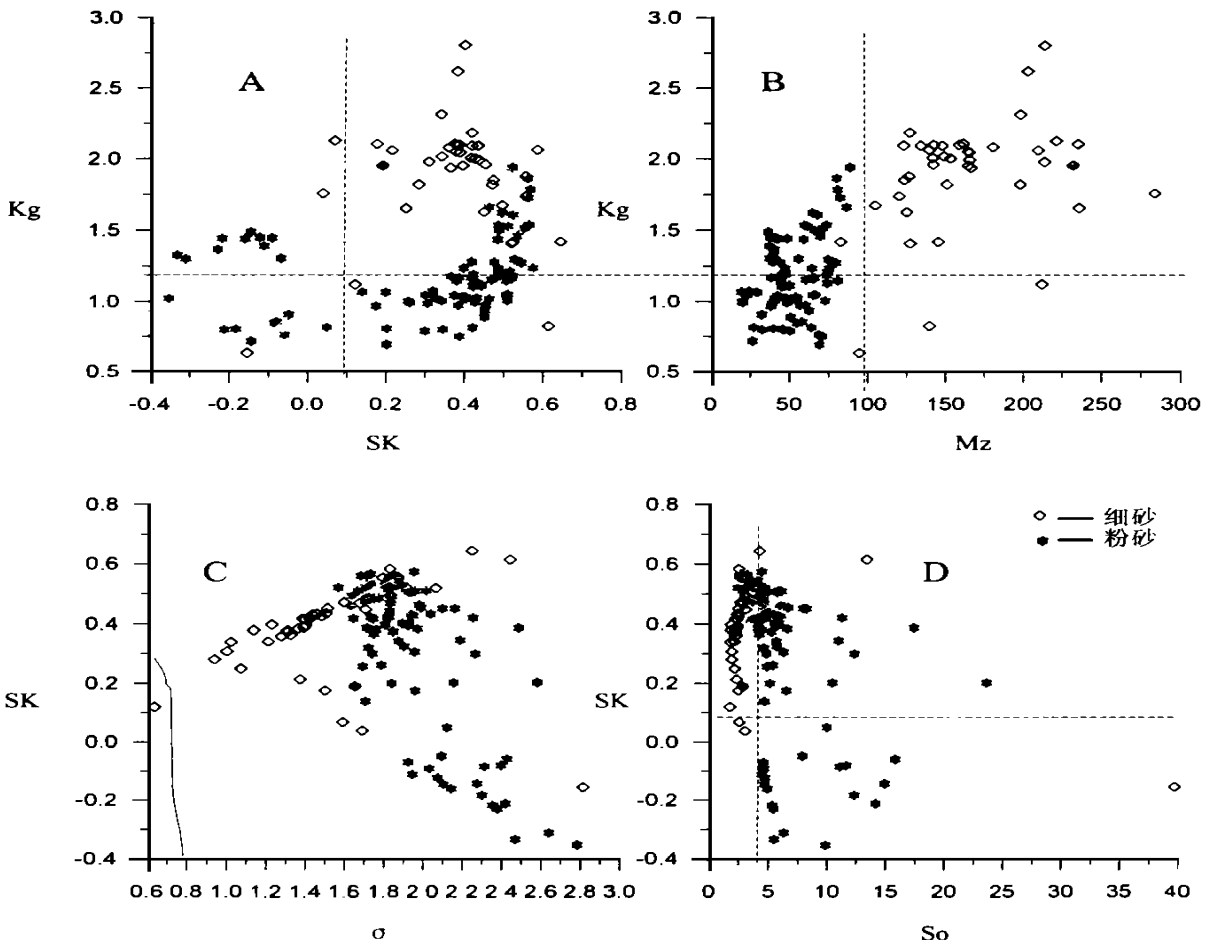


图2 三角城粒度组成特征

Fig. 2 Characteristics of the grain size composition in Sanjiaocheng area

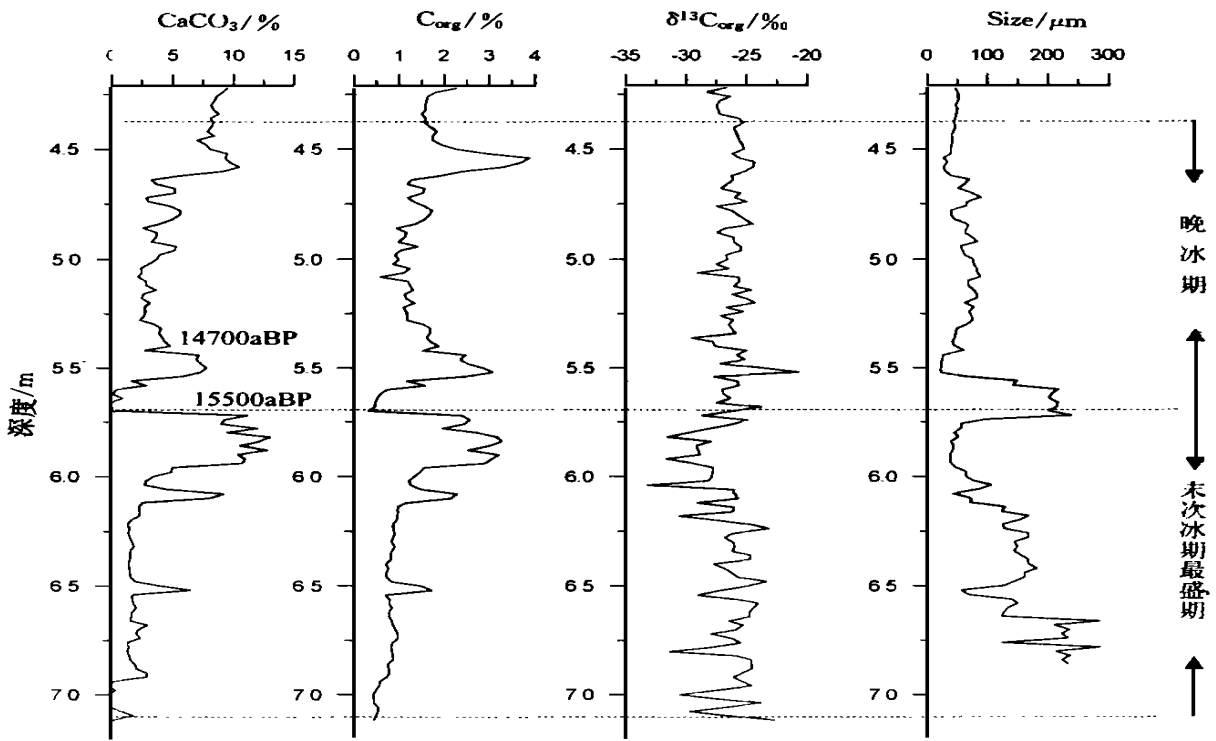


图 3 石羊河流域三角城剖面末次冰期晚期气候变化特征

Fig. 3 Characteristic of palaeodimatic variation of

Late Glacial later period in the section of Sangjiaocheng the Shiyang river basin

系, 但 $\delta^{13}C_{org}$ 总体偏重, 表明温度和湿度仍较低, 对植物的生长不利。

6.2 末次冰期最盛期晚期气候

5.7 m 以下地层主要是末次冰期最盛期晚期发育的, 以 $\delta^{13}C$ 、 $CaCO_3$ 、 C_{org} 含量以及粒度明显可以分为两个主要的气候阶段, 第一个阶段主要由粉砂质粘土组成, 年代大约为 15 500~17 000 aB. P., 有机碳和碳酸钙含量均较大, 而有机质的碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 则明显偏轻, 表明处于比较温湿状态, 对植物生长有利, 流域内有较多的植被覆盖, 河流较发育, 有较多的有机质及碳酸钙带入三角城地区沉积。第二个阶段主要是由风成细砂组成, 代表了整体上为冷干环境, 从有机质碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 分析表明, $\delta^{13}C$ 总体上偏重, 但有较短暂的快速波动, 有机碳和碳酸钙含量也随之变化, $\delta^{13}C_{org}$ 的变化较之粒度、碳酸钙以及有机碳变化更敏感, 说明 $\delta^{13}C_{org}$ 作为一种古气候替代指标对气候变化更加敏感。

7 讨论

利用石羊河流域三角城剖面沉积物中有机质碳同位素组成作为古气候变化指标, 记录到在我国西北干旱区末次冰期晚期气候发生了明显的快速变化, 并且

有机质碳同位素组成分析结果与 GRIP 氧同位素组成曲线对比有较大的相似性^[5], 与氧同位素第二阶段相当(图 4), 说明在我国西北干旱区记录到的气候快速变化事件是全球气候变化的响应。末次冰期晚期的气候明显具冷干—暖湿的交替变化可能与自然地理位置有关, 青藏高原的隆升对大气环流产生影响, 以温湿气候为主的东南季风和以干冷为主的西风是该区古气候

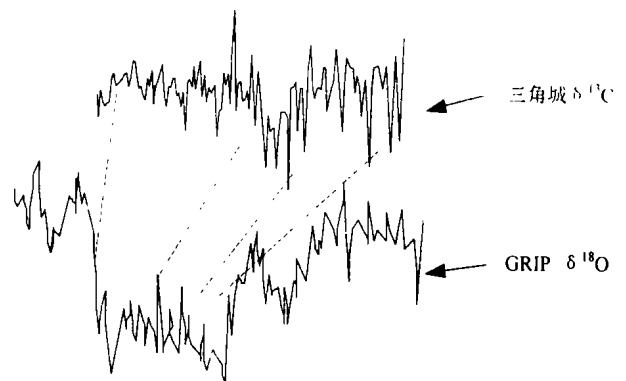


图 4 三角城有机质碳同位素记录与 GRIP 氧同位素记录的对比

Fig. 4 Comparison between the $\delta^{13}C$ of organic sediments in Sanjiaocheng and $\delta^{18}O$ of GRIP

的主要影响因素。安芷生等^[11]认为我国黄土高原西部巴谢黄土—古土壤序列记录的 YD 事件为东亚夏季

风的加强,周卫建等^[12]认为在我国沙漠—黄土过渡带与极地北大西洋气候相联系,晚冰期由于大气和海面温度变化引起西伯利亚—蒙古高压强度变化,这一时期气候的百年尺度的快速颤动是高纬极地大陆气团与太平洋暖湿气团作用的结果,说明末次冰期全球性气候对三角城古气候变化有较大影响。

8 结论

(1) 从沉积物中碳酸盐、有机碳、粒度和有机质碳同位素组成这三个反映古气候的指标分析,有机质碳同位素组成明显更加对气候变化敏感,记录到的古气候变化信息更加详细,因此在我国西北干旱区该指标对重建古气候的高分辨模式是非常有效的。

(2) 三角城末次冰期晚期记录到的气候快速温湿—干冷气候变化存在明显的周期性,并与全球气候变化有明显的联系,说明可能是全球气候变化对该区的古气候有直接的影响。

(3) 末次冰期最盛期与晚冰期过渡阶段气候温湿,为末次冰期中的一次气候适宜期。

参 考 文 献

1 Heinrich H. Origin and consequences of cyclic ice rafting in the north-east Atlantic Ocean during the past 130000 years[J]. *Quaternary Research*, 1988, 29: 142~152

2 Bond G, Heinrich H, Broecker W, et al. Evidence for massive discharges of icebergs into the north Atlantic Ocean during the last glacial period[J]. *Nature*, 1992, 360: 245~249

3 张志强编译. 地球气候将平衡于又一次跳跃[J]. *地球科学进展*, 1995, 10(3): 296~298

4 Griman E G, Jacobson G L, Watts W A, et al. A 50000 record of climatic oscillations from Florida and its temporal correlation with the Heinrich events[J]. *Science*, 1993, 261: 198~200

5 Grafenstein U von, Erlenkeuser H, Brauer A, et al. A mid-European decadal isotope-climate record from 15500 to 5000 years B. P. [J]. *Science*, 1999, 284: 1654~1657

6 杨志红,姚檀栋,黄翠兰等. 古里雅冰芯中的新仙女木期事件记录[J]. *科学通报*, 1997, 42(18): 1975~1978

7 安芷生,波特 S C, 夏佩尔 J 等. 最近 15 万年洛川黄土堆积序列与格陵兰冰芯记录[J]. *科学通报*, 1994, 39: 2254~2256

8 Smith B N, Epstein S. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio for higher plants[J]. *Plant Physiology*, 1971, 47: 380~384

9 张平中,王先彬,陈践发,王苏民. 湖相有机质的氢指数及碳同位素组成——湖面波动评价的指标——以 RH 孔为例[J]. *科学通报*, 1995, 40(18): 1682~1685

10 刘宝珺. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1980. 307~315

11 An Z S, Porter S C, Zhou W J, et al. Episode of strengthened summer monsoon climate of younger dryas age on the loess plateau of central China[J]. *Quaternary Research*, 1993, 39: 45~54

12 周卫建,李小强,董光荣等. 新仙女木期沙漠/黄土过渡带高分辨率泥炭记录——东亚季风气候颤动的实例[J]. *中国科学(D 辑)*, 1996, 26(2): 118~124

Unstability Record of Late Glacial Later Period in the Shiyang River Basin of Arid Northwestern China

ZHANG Cheng-jun¹ CHEN Fa-hu¹ WANG Qi² SHI Qi¹ SUN Wei-zhen³

1(School of Resources and Environments, Lanzhou University, Lanzhou 730000) 2(Lanzhou Institute of Geology, CAS Lanzhou 730000)

3(Cold and Arid Regions Environmental and Research Institute, CAS, Lanzhou 730000)

Abstract

Carbon isotopic compositions of organic matters in the sediments during late Glacial Maximum and Late Glacial Period have been analyzed in arid-semiarid areas of northwestern China. It shows that the sediment have recorded in detail the process of climatic oscillation that changed from dry and cool to warm and wet in thousand or hundred years scale during this period in the transition of monsoon edge belts. High resolution record of organic carbon isotopic compositions is the same as that of GRIP oxygen isotopic composition. It also indicates that there is a relative climatic changes between the globe and arid China. The climate was warm and wet in the transition period of late Glacial Maximum to Late Glacial, and terrestrial plants grew briskly. And the monsoon had taken an important action in the climatic oscillation in Shiyang river basin. The proxy of $\delta^{13}\text{C}$ is the effective indicator of reconstructing the palaeoclimatic variation in the arid China because of its sensitivity to the climatic changes.

Key words Shiyang river basin Late Glacial later period carbon isotopic composition of organic matter