

太阳活动对塔里木盆地南缘近 4 ka 以来气候波动的可能影响

钟 巍 王立国 塔西甫拉提·特依甫 熊黑钢 舒 强

(华南师范大学地理系, 广州 510631; 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046. E-mail: zhweixj@sohu.com)

摘要 西风区塔里木盆地南缘尼雅剖面各指标记录了近 4 ka 以来此地区的气候环境变化. 特别是沉积物平均粒径, 其十至百年尺度的波动与Greenland GISP2 冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 温度指标、大气剩余 ^{14}C (residual $\Delta^{14}\text{C}$) 曲线之间存在很好的吻合. 红色噪声谱分析(Redfit)所提取的 196, 121, 97, 62, 45 和 33~30 年等显著周期, 多数与太阳辐射变化的周期具有一致性. 结合广泛的区域对比, 进一步证明太阳辐射可能是本地区乃至全球数十年至百年尺度气候变化的重要驱动力.

关键词 塔里木盆地 太阳活动 十至百年尺度 气候变化

器测资料、历史时期的各种气候代用指标的研究早已发现, 太阳辐射与气候具有相同或相近的短周期变化, 如 11 年的Schwabe周期、22 年的Hale周期以及 90 年的周期. 但不少科学家仍然对太阳活动对于地球气候变化的影响存在怀疑, 认为人们可能过大地估计了太阳活动的影响程度. 在过去的数十年间, 就较长期气候变化与太阳活动之间的可能联系虽然已有较多的研究[1~13], 但是目前仍需要大量的、不同地区的具有较高分辨率和时间尺度的气候变化记录来进一步验证和阐释两者之间的关系. 研究已发现, 大气 ^{14}C 可以反映太阳辐射变化的过程, 而且越来越多的研究结果证明了气候的冷暖、干湿变化与太阳辐射变化之间确实存在非常好的相关性[3~7]. 我国学者的研究, 进一步证明了过去较微弱的大气“ ^{14}C ”变化与气候波动也存在一一对应的关系[4,15]. 本文将根据我国西风区塔里木盆地南缘的一个湖沼相沉积剖面气候代用指标的研究, 对此地区近 4 ka 来气候环境变化及其与太阳活动之间的可能联系进行探讨.

1 样品分析采集与分析

研究区处于塔里木盆地南缘, 为典型的暖温带大陆型极端干旱气候. 年均降水约 50 mm, 蒸发量为 2590 mm, 年均气温为 11℃, 年、日较差大. 每年平均有 21 次沙尘暴, 浮尘天气为 156 天. 研究剖面(尼雅剖面)位于民丰县城以北约 7 km 的绿洲边缘地区(图 1). 剖面沉积过程连续, 在距地表 1.0~1.10 和 1.60~1.70 m 两处有冻融褶曲发育.

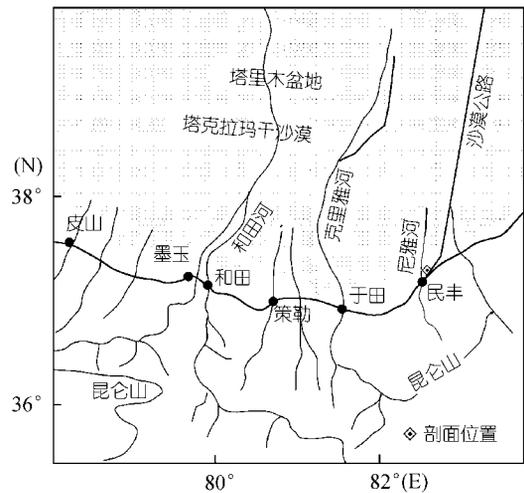


图 1 研究区域概况及剖面位置

剖面总深度为 260 cm, 自距地表 2 cm 开始, 以 1 cm 间距采样, 共采样品 258 个. 全剖面共获得的 6 个有机 ^{14}C 年代, 经树木年轮校正后换算为 AD 或 BC 年代(表 1). 根据剖面年代与深度相关关系(图 2), 进行样品的年代插值, 建立年代序列. 据此计算出剖面底部年代约为 4.112 kaBP(cal)(2162 cal BC). 每个样品的分辨率平均为 16 年.

沉积物碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 采用磷酸法收集 CO_2 以后, 运用 MAT-251 型同位素质谱仪测试, 测试精度为 $\pm 0.02\text{‰}$ (PDB). 磁化率采用 Bartington MS2 型磁化率仪测定. 粒度采用英国制造 Mastersizer 2000 激光粒度仪分析. 地球化学元素运用日产 3020 型 X 射线荧

光光谱仪分析测定。孢粉采用常规重液选浮法鉴定分析。

表1 尼雅剖面放射性同位素¹⁴C年代和校正年代

深度/cm (地表以下)	实验室 编号	¹⁴ C/aBP	年轮校正 年代 /aBP(cal)	AD 或 BC 年 代(AD(cal)或 BC(cal))	测年材料
75~80	LD98-1	960±60	738	1212 AD	有机质粉沙
120~125	LD98-2	1230±170	1072	878 AD	泥炭
150~155	LD98-3	1680±190	1527	403 AD	泥炭
175~180	LD98-4	2180±170	1718	232 AD	泥炭
210~215	LD98-5	530±160	2474	524 BC	有机质黏质 粉沙
240~245	LD98-6	3080±170	3463	1513 BC	有机质粉沙

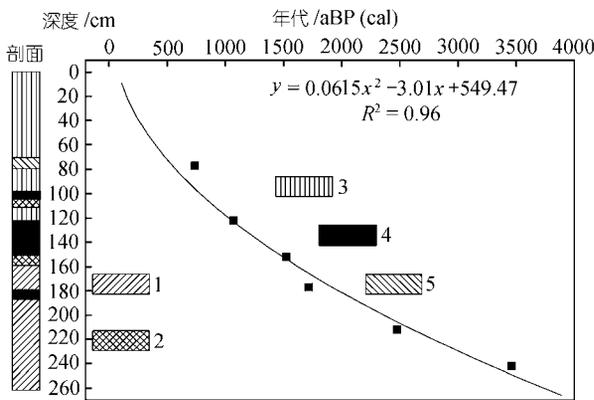


图2 尼雅剖面沉积特征及深度-年代关系

1. 青灰黏质粉沙夹炭化植物残体；2. 灰色粉沙和棕色黏土互层，冻融褶皱和细薄泥炭层发育；3. 灰绿色粉沙，粉沙质黏土夹灰黄细沙；4. 灰黑色黏土质炭化层含植物残体；5. 棕色亚黏土与粉沙互层

2 气候代用指标的分析与对比

湖沼相沉积物的粒度指标是反映气候与环境变化的常用代用指标，其中平均粒度(mean grain size, MGS)尤其重要^[16]。从图3中可以发现，尼雅剖面MGS变化所表现的一系列数十至百年尺度的波动事件(事件1-54)，大部分与大气残余¹⁴C(residual, Δ¹⁴C)记录以及GISP2冰芯δ¹⁸O指标之间，在位相和时间上存在惊人的吻合(图3)。尼雅剖面中MGS的低值(奇数事件)一般都对应于GISP2冰芯中的冷期和太阳辐射的极小期，而MGS的峰值(偶数事件)则相反。这种吻合不应该简单地理解为一种偶然现象，它们之间可能存在着一种共同的驱动力。

位于绿洲与沙漠交错带的尼雅剖面，是一套以

地下水补给为主的湖沼相沉积。因此，入湖沉积物受到了水动力和风力搬运的双重影响，这从大多数样品粒度分布具有双峰和正偏态特征可得以证明¹⁾。由于以地下水补给的湖泊具有水动力补给相对稳定的特点，故地表风力搬运作用对其影响不可忽视。研究区受北半球中纬度西风环流的影响，晚更新世晚期以来，其气候环境的演变与我国东部季风区有别，主要表现为相对暖干与冷湿交替的水热配置模式^[17,18]。近2 ka来，在10年际的气候变化上，新疆古里雅冰芯也揭示了气候变化是以冷湿与暖干的组合占优势^[19,20]。冷期中，相对湿润的特征可能与太阳辐射减小导致气候变冷，大气有效湿度增加有关。这种气候演化模式影响了流域的风化类型与强度和沉积物搬运动力。尼雅剖面MGS对气候环境的指示可以作如下定性解释：当气候处于相对暖干阶段，物理风化强盛^[21]，碎屑物质较多，植被盖度下降，地表物质易于遭受侵蚀、吹扬，被搬运入湖，导致湖沼中粗颗粒物质增多，MGS增大。反之，在相对冷湿阶段，化学风化相对增强^[21]，植被盖度增加，地表物质得以保护，故只有细颗粒的物质才能被搬运入湖，导致MGS减小。

干旱区湖沼相沉积物碳酸盐δ¹³C的偏重、偏轻可以定性指示气候环境干(暖)、湿(冷)状况^[23-27]。粒度分选系数(σ)的波动暗示了沉积物搬运动力的变化。图4中MGS与σ之间呈现正同步关系，MGS越高，分选性也越好，可能在一定程度上蕴涵了沉积物受风力搬运的性质^[28]。质量磁化率的高低与流域地表氧化或还原环境的强弱有关：在暖干期中，地表氧化作用强，有利于磁性矿物的形成与聚集，磁化率升高。与磁化率呈显著正相关的50~500 μm组分，恰是风沙活动中最易跃移的部分^[13]，其含量的增加，也暗示了在暖干期中，地表较粗的碎屑物质向湖泊的加积²⁾。冷湿期中，则相反(图4)。另外，以5~10cm间隔分析的孢粉A/C值(*Artemisia*/*Chenopodiaceae*)和Rb/Sr值的波动，在大的阶段上指示了气候环境和流域化学风化状况：较高的A/C反映相对湿润的植被生态环境^[29]，而较高的Rb/Sr则代表了较为干旱的时期和较弱的化学风化强度^[21]。上述指标与MGS的对比表明(图4)，对尼雅剖面MGS气候环境变化指示作用的解

1) 钟巍. 塔里木盆地南缘沉积物粒度及其气候环境意义. 2003

2) 钟巍. 塔里木盆地南缘沉积物磁化率、δ¹³C与粒度及其气候环境意义. 2003

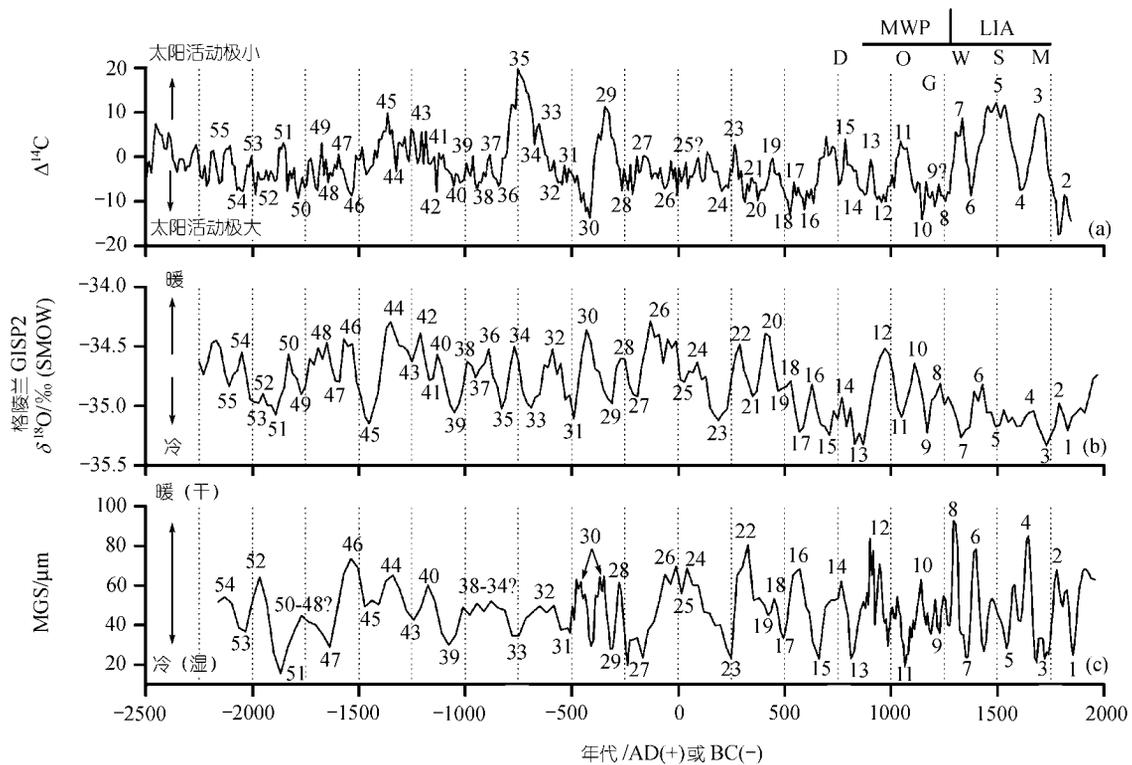


图 3 尼雅剖面MGS指标十至百年尺度波动(No.1~55)及与大气剩余 ^{14}C 记录^[22]、格陵兰GISP2冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录^[21]的对比
 M: Maunder 最小期(1645~1715AD); S: Spörer 最小期(1420~1530AD); W: Wolf 最小期(1280~1340AD); O: Oort 最小期(1010~1050AD); D: Dark Age Cooling(400~600AD); G: Grand solar maximum(1100~1250AD); LIA: 小冰期(1400~1800AD); MWP: 中世纪暖期(800~1350AD)

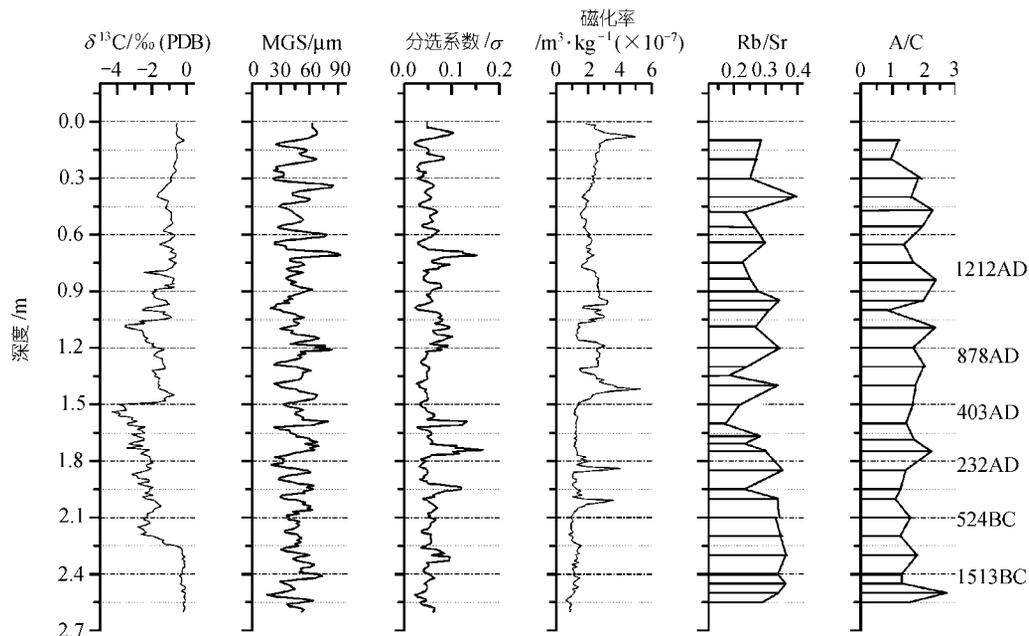


图 4 尼雅剖面平均粒径(MGS)与碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 、分选系数(σ)、质量磁化率(SI)以及Rb/Sr和A/C的变化

释是合理的. 从图3中可以发现, 在历次太阳活动的极小期, 气候变冷, MGS 呈现低值; 在太阳活动的极大期, 气候变暖, MGS 呈现高值. 特别是, 剖面于600AD(1.00~1.10 m)和1000 AD 前后(1.60~1.70 m)发育的冻融褶曲(图2), 可分别对应于太阳活动的极小事件17和11.

3 气候变化的周期性

太阳活动变化对全球气候变化驱动的另一重要表现, 在于二者具有一致的变化周期^[30]. 本文应用Schulz等人^[31]在2002年提出的针对于非等时距气候变化序列的红色噪声谱分析方法(Redfit), 处理了MGS序列, 以求取变化周期. 图5表示了通过红色噪声检验的MGS序列的变化周期(图5). 在 χ^2 检验为99%的置信度下, 检出了196, 121, 97, 62, 45和33~30年的周期(图5).

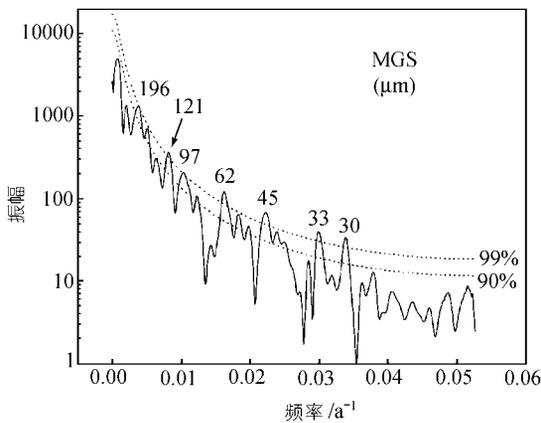


图5 尼雅剖面沉积物平均粒径的红色噪声谱周期分析

所揭示的周期大部分都与太阳活动有关, 其中33~30年周期与著名的布鲁克纳周期(35年)相当. 该周期在阿尔卑斯冰川进退、太平洋高压、印度低压、赤道低压位置变化和我国长江下游以及北方京、津地区降水等记录中都得以明确揭示^[32]. 97年的周期可能是对Gleissberg(88年)太阳活动周期的响应, 金川泥炭纤维素 $\delta^{18}\text{O}$ 记录曾发现86或93年的类似周期^[33]; 196年的显著周期与著名的太阳活动Suess周期(约200年)相一致. Stuiver等人^[33]曾发现, 在9.6 ka的大气 ^{14}C 变化的树木年轮记录中, 存在3个主要的太阳活动周期: 420年, 218和143年, 但在近4 ka的变化中则表现为显著的126年的周期, 与本文揭示的

121年显著周期吻合. GISP2冰芯的粉尘沉积揭示了11, 22, 90和200年的显著周期^[34,35]. 美国中部EIK湖经纹层校正的风尘沉积序列发现了很强的400和84年的周期信号^[36]. 美国西部和塔斯马尼亚年轮温度序列分别表现出125和200年的变化周期^[37,38], 由太阳辐射驱动的南加勒比海Cariaco盆地信风强度的变化也发现了这两个周期^[39]. 北美Great Plain北部的Rice湖介形虫(*Candona rawsoni*)介壳Mg/Ca所反映的2.1 ka来百年尺度的干旱波动, 也揭示出400, 195, 129和99年的周期^[43]. 上述资料表明, 形成全球不同地区气候变化具有相同或相似周期的根本原因, 可能在于太阳辐射变化的驱动. 太阳辐射是形成全球数十至百年尺度气候变化的重要驱动力.

4 结论

塔里木盆地的气候环境演变呈现出典型的西风型特征, 而且由于盆地中发育了世界第二大流动性沙漠, 其中纬度非地带性成因的极端干旱环境特征的形成与演化过程和机制, 近年来吸引了人们高度的重视. 本文研究发现, 塔里木盆地南缘数十年至百年尺度气候干湿、冷暖变化与太阳活动之间存在明显的相关性, 表现为在太阳辐射强度增加时, 气候呈现相对暖(干)特征, 而当太阳辐射强度减小时, 气候表现为相对冷(湿)特征, 并且其冷暖的变化过程与格陵兰GISP2冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 温度指标之间具有很好的吻合. 塔里木盆地南缘近4 kaBP(cal)以来气候指标所揭示的变化周期与太阳活动周期有很好的—致性, 且这种—致性存在于全球各地大量的气候变化记录中, 表明由太阳活动所导致的太阳辐射强度的变化, 可能是形成这种—致性的内在驱动力. 研究结果从另一方面也清楚地表明, 虽然影响因素复杂多样, 但全球气候变化对于太阳辐射驱动的响应是十分敏感的. 这一结果的取得, 对预测本地区未来数十年至百年尺度的气候变化具有重要意义.

致谢 本文中 ^{14}C 年代、孢粉、地球化学元素、碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 和粒度分析分别得到了兰州大学地理系年代实验室、中国科学院新疆生态地理研究所孢粉实验室、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所X衍射荧光光谱实验室和南京师范大学地理科学院沉积物实验室的帮助, 特致衷心的感谢! 本工作受国家重点基础研究发展规划项目(G1999043508)、国家自然科学基金项目(批准号: 49761007)和教育部高等学校骨干教师资助计划资助.

参 考 文 献

- 1 Hu F S, Kaufman D, Yoneji S, et al. Cyclic variation and solar forcing of Holocene climate in the Alaskan subarctic. *Science*, 2003, 301: 1890~1893 [\[DOI\]](#)
- 2 Hodell D A, Brenner M, Curtis J H, et al. Solar forcing of drought frequency in the Maya Lowland. *Science*, 292: 1367~1370
- 3 Stuiver M. Solar variability and climatic change during the current millennium. *Nature*, 1980, 286: 868~871
- 4 Stuiver M, Braziunas T F, Becker B, et al. Climatic, Solar, Oceanic, and geomagnetic influence on late-glacial and Holocene atmospheric $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ change. *Quaternary Research*, 1991, 35: 1~24
- 5 Karlen W, Kuylenstierna J. On solar forcing of Holocene climate: evidence from Scandinavia. *The Holocene*, 1996, 6(3): 359~365
- 6 Van Geel B, Van Der Plicht J, Kilian M R, et al. The sharp rise of $\delta^{14}\text{C}$ ca.800 cal BC: possible cause, related climatic teleconnections and the impact on human environments. *Radiocarbon*, 1998, 40(1): 535~550
- 7 Haigh J D. Solar variability and climate. *Weather*, 2000, 55(11): 399~407
- 8 Kristjansson J E, Staple A, Kristiansen J. A new look at possible connections between solar activity, clouds and climate. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(23): 2107
- 9 Laut P. Solar activity and terrestrial climate: an analysis of some purported correlations. *J Atmos & Solar-Terr Phys*, 2003, 65(7): 801~812 [\[DOI\]](#)
- 10 Rind D. The Sun's role in climate variations. *Science*, 2002, 296(26): 673~677 [\[DOI\]](#)
- 11 Oh H S, Ammann C, Naveau P, et al. Solar forcing and climate: a multi-resolution analysis. *Journal of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics*, 2003, 65, 2: 191~201 [\[DOI\]](#)
- 12 Bard E, Raisbeck G, Yiou F, et al. Solar irradiance during the last 1200 years based on cosmogenic nuclides. *Tellus*, 2000, 54B: 985~992
- 13 Yu Z C, Ito E. Possible solar forcing of century-scale drought frequency in the northern Great Plain. *Geology*, 1999, 27(3): 263~266 [\[DOI\]](#)
- 14 Hong Y T, Jing T S, Liu T S, et al. Response of climate to solar forcing recorded in a 6000-year $\delta^{18}\text{O}$ time-series of Chinese peat cellulose. *The Holocene*, 2000, 10(1): 1~7 [\[DOI\]](#)
- 15 洪业汤, 刘东生, 姜洪波, 等. 太阳辐射驱动气候变化的泥炭氧同位素证据. *中国科学, D 辑*, 1999, 29(6): 527~531
- 16 王君波, 朱力平. 藏南沉错沉积物的粒度特征及其古环境意义. *地理科学进展*, 2002, 21(5): 459~467
- 17 李吉均. 中国西部地区晚更新世以来的环境演变模式. *第四纪研究*, 1990, (3): 197~203
- 18 韩淑妮, 翟章. 北疆内陆型全新世气候演变特征. *中国科学, B 辑*, 1992, (11): 1021~102
- 19 施雅风, 姚檀栋, 杨保. 近 2000a 古里雅冰芯 10a 尺度的气候变化及其与中国东部文献记录的对比. *中国科学, D 辑*, 1999, 29(增刊): 79~86
- 20 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨. *冰川冻土*, 2002, 24(3): 219~226
- 21 Grootes P M, Stuiver M, White J W C, et al. Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice core. *Nature*, 1993, 366: 552~554 [\[DOI\]](#)
- 22 Stuiver M, Reimer P J. Extended ^{14}C data base and revised 3.0 ^{14}C calibration program. *Radiocarbon*. 1993, 35(1): 215~230
- 23 金章东, 王苏民, 沈吉, 等. 小冰期弱化学风化的湖泊沉积记录. *中国科学, D 辑*, 2001, 31(3): 221~225 [\[摘要\]](#) [\[PDF\]](#)
- 24 陈敬安, 万国江, 汪福顺, 等. 湖泊现代沉积物碳环境记录研究. *中国科学, D 辑*, 2002, 32(1): 73~80 [\[摘要\]](#) [\[PDF\]](#)
- 25 姜文英, 彭淑贞, 郝青振, 等. 上新世红黏土的碳同位素记录与青藏高原隆升的关系. *科学通报*, 2001, 46(24): 2065~2068 [\[摘要\]](#) [\[PDF\]](#)
- 26 Clark J S, Grimm E C, Lynch J, et al. Effects of Holocene climate on the C₄ grassland/woodland boundary in the northern Plain. *USA Ecology*, 2001, 82(3): 620~636
- 27 袁宝印, 魏兰英, 王振海, 等. 新疆巴里坤湖 15 万年以来古水文序列. *第四纪研究*, 1998, (4): 319~326
- 28 吴正. 风沙地貌学. 北京: 科学出版社, 1987. 18~68
- 29 孙湘君, 杜乃秋, 翁成郁, 等. 近 14000 年以来新疆玛纳斯湖的古植被与环境. *第四纪研究*, 1994, (3): 239~247
- 30 Damon P E, Sonnett C P. Solar and terrestrial components of the atmospheric ^{14}C variation spectrum. Tucson: The University Arizona Press, 1991. 360~388
- 31 Schulz M, Mudelsee M. REDFIT: estimating red-noise spectra directly from unevenly spaced paleoclimatic time series. *Computer Geoscience*, 2002, 28(3): 421~426 [\[DOI\]](#)
- 32 张家诚. 气候变迁及其原因. 北京: 科学出版社, 1976. 1~288
- 33 Stuiver M, Braziunas T F. Sun, ocean, climate and atmospheric $^{14}\text{CO}_2$: an evaluation of causal and spectral relationships. *The Holocene*, 1989, 3: 289~304
- 34 Ram M, Stolz M, Koenig G. Eleven year cycle of dust concentration variability observed in dust profile of GISP2 ice core from central Greenland: possible solar connection. *Geophysical Research Letters*, 1997, 24: 2359~2462 [\[DOI\]](#)
- 35 Dean W E. Rates, timing, and cyclicity of Holocene eolian activity in north-central United States-evidence from varved lake sediment. *Geology*, 1997, 25: 331~334 [\[DOI\]](#)
- 36 Ram M, Stolz M R. Possible solar influence on the dust profile of GISP2 ice core from central Greenland. *Geophysical Research Letters*, 1999, 26: 1043~1046 [\[DOI\]](#)
- 37 Cook E R, Buckley B M, Dj'Arrigo R D. Inter-decadal climate oscillations in the Tasmania sector of southern Hemisphere: evidence from tree rings over the past three millennium. In: Jones P D, Bradley R S, eds. *Climatic Variations and Forcing Mechanism of Last 2000 years*. Berlin: Springer, 1996. 141~160
- 38 Cook E R, Meko D M, Stockton C W. A new assessment of possible solar and lunar forcing of the bidecadal drought rhythm in the western United States. *Journal of Climate*, 1997, 10: 1343~1356 [\[DOI\]](#)
- 39 Ram M, Stolz M R. Possible solar influence on the dust profile of GISP2 ice core from central Greenland. *Geophysical Research Letters*, 1999, 26: 1043~1046 [\[DOI\]](#)

(2003-12-15 收稿, 2004-03-08 收修改稿)