

# 贵州白鹈湖沉积物记录的4~2kaB. P. 干旱气候事件及其生态环境影响\*

陈敬安<sup>①</sup> 曾艳<sup>①②</sup> 张维<sup>③</sup> 李键<sup>①</sup> 朱正杰<sup>①</sup>

(<sup>①</sup>中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室,贵阳 550002; <sup>②</sup>中国科学院研究生院,北京 100049;

<sup>③</sup>贵州省环境科学研究设计院,贵阳 550002)

**摘要** 喀斯特地区的生态环境具有先天脆弱性,对气候变化响应敏感,是研究气候变化-生态环境变化耦合关系的理想场所。选取我国典型喀斯特地区湖泊白鹈湖为研究对象,系统分析了沉积物柱芯有机质 C/N 比值、Sr/Rb 比值和孢粉的剖面变化。研究表明,白鹈湖地区 3.6~2.2kaB. P. 气候持续向干旱化方向发展,导致流域陆地植被显著退化,草本植物减少,蕨类植物增加,湖泊陆源有机质输入减少,沉积物有机质 C/N 比值降低。该干旱事件还导致流域化学风化作用减弱,Sr/Rb 比值增大。白鹈湖过去 5000 年的气候与生态环境变化历史表明自然气候变化对喀斯特生态环境可产生重大影响,为喀斯特生态环境先天脆弱性提供了历史性证据。

**主题词** 白鹈湖 沉积物 气候变化 生态环境 喀斯特

**中图分类号** P343.5, P532, X142

**文献标识码** A343.5

近 10000 年以来这段时期被称为全新世,第四纪学家通常把新仙女木事件(Younger Dryas)的结束时间作为全新世的开始。“新仙女木”事件是末次冰期的最后一次寒冷事件,发生时间为 12.5~11.5kaB. P.<sup>[1]</sup>。“新仙女木”事件之后全球气候转暖,进入相对温暖的全新世。由于全新世与现代直接接轨,因此深入了解该时期全球气候变化历史将为科学认识现代气候变化的性质、相位和合理预测未来气候变化趋势提供重要依据。尽管全新世气候变化在全球不同地区的表现不尽相同,但总体上具有两大特征:1)全新世气温整体大幅回升,尤其是早全新世和中全新世较为温暖,晚全新世气温相对较低,近一个世纪以来又呈现出变暖趋势;2)全新世气候并不稳定,存在多次气候波动,其中最显著的气候变化包括 8.2kaB. P. 事件、4.2kaB. P. 事件、2.8kaB. P. 事件、中世纪暖期、小冰期和 19 世纪末以来的升温等<sup>[2]</sup>。“将古论今”,深刻揭示全新世气候变化事件的幅度、速率及其对生态环境的影响,对科学认识气候变化的自然变率、正确评估当前全球气候变暖趋势及其影响具有重要意义。

应对气候变化需以科学认识气候变化对人类生存环境的影响为基础,对历史上典型气候事件的深

入剖析将为人类正确认识 and 应对全球气候变化提供历史借鉴。喀斯特地区的生态环境具有先天脆弱性<sup>[3,4]</sup>,对气候变化敏感度高,是研究气候变化-生态环境变化耦合关系的理想场所。然而,目前对碳酸盐地区的研究并未引起足够的重视,基础资料缺乏,亟待加强。本文以我国典型喀斯特地区湖泊为研究对象,着重分析了气候变化对区域植被及生态环境的影响,力图揭示喀斯特地区气候变化-植被变化-生态环境变化之间的耦合关系,为喀斯特地区合理应对气候变化提供基础资料和科学依据。

## 1 研究区概况

贵州茂兰喀斯特保护区位于贵州省荔波县,其东南面与广西环江县毗邻,是云贵高原向湖广丘陵盆地的过渡地带。东西宽 22.8km,南北长 21.8km,地理位置为 25°09'20"~25°20'50"N,107°52'10"~108°05'40"E,保护区面积 2×10<sup>4</sup>hm<sup>2</sup>,森林覆盖率在 90% 以上。茂兰喀斯特林区受中亚热带季风湿润气候影响,春秋温暖,冬无严寒,夏无酷暑,且雨量充沛,年均气温约 18℃,年平均降水量 1700mm 左右。该保护区除局部地区覆盖少量页岩外,主要分布纯质石灰岩和白云岩。白鹈湖位于贵州省荔波县茂兰

第一作者简介:陈敬安 男 37 岁 研究员 环境地球化学专业 E-mail:chenjingan@vip.skleg.cn

\* 国家重点基础研究发展规划项目(973 项目)(批准号:2006CB403201)和国家自然科学基金项目(批准号:40721002 和 40873084)资助  
2010-07-05 收稿,2010-08-10 收修改稿

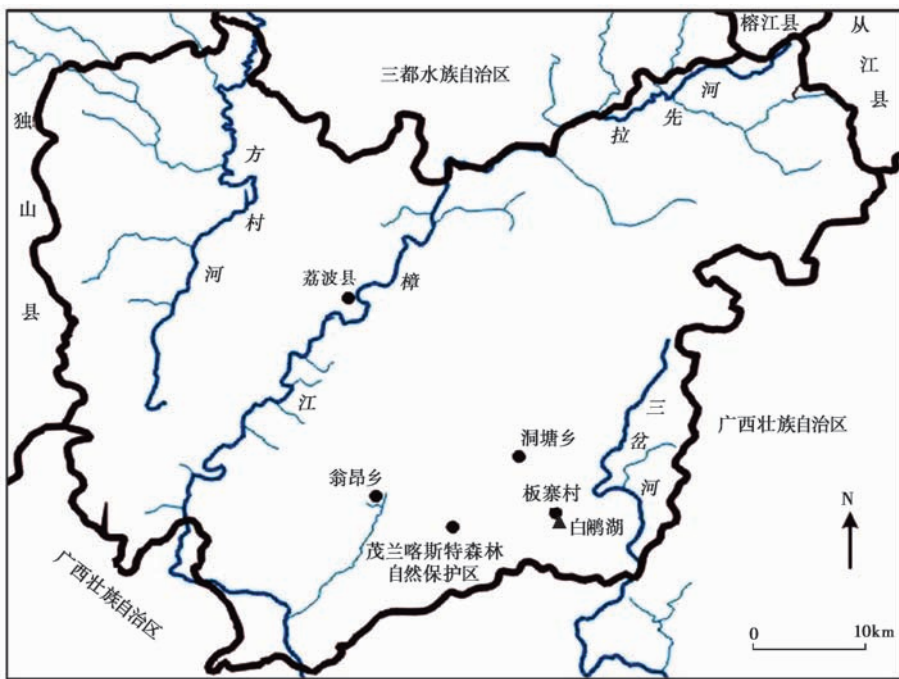


图1 白鹳湖地理位置示意图

Fig. 1 Map showing the location of Lake Baixian

镇(半)原始森林区(图1),位于接近山顶地区的凹地(海拔约700m)。湖泊面积约5000m<sup>2</sup>,平均水深约2m,湖盆周围广泛分布着碳酸盐岩。

选取白鹳湖作为研究对象是基于以下考虑:

1)白鹳湖位于典型的喀斯特地区,该区生态环境对气候变化的响应敏感度高,是研究气候变化-生态环境变化耦合关系的理想场所;2)与该地区石笋、钙华等地质记录相比,湖泊沉积记录的信息量大,各种适合于古环境恢复的生物、物理和化学替代性指标分别记录了大气圈(降水、温度、酸雨等)、陆地生态系统(植被、流域风化作用等)和水生系统(初始生产力等)的丰富信息,有助于揭示气候变化对生态系统的影响;3)白鹳湖位于(半)原始森林区,基本不受人为活动影响,有助于研究自然生态环境对气候变化的响应。

## 2 样品采集与分析

在原有SWB-1型便携式湖泊沉积物-水界面采样器<sup>[5]</sup>的基础上,成功研制出一套组合式湖泊沉积物柱芯采样装置。新型采样装置既保持了原采样器携带方便、操作简单、无扰动采集等特点,还将沉积物柱芯最大采集长度由之前的60~80cm提高到150cm,并增加了采样器连杆装置,使采样器由之前的仅适用于深水湖泊(通常要求水深大于10m)发展到可用于

浅水湖泊(0~5cm水深)沉积物柱芯的采集。

利用新型沉积物柱芯采样装置于2007年5月在白鹳湖湖心区采得长56cm的沉积物柱芯。所采沉积物柱芯保存完好,悬浮层未受扰动。沉积物柱芯在野外现场按1cm间隔分样,装入塑料自封袋中密闭保存。运回实验室后,沉积物样品经真空冷冻干燥器(型号:FD-1A-50)干燥后,称量样品干重,用玛瑙研钵研磨至120目以下备用。

对从沉积物柱芯中挑选出的陆源植物碎屑样品,在中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室使用AAA法(酸碱酸法)进行前处理,并采用纤维素碳同位素前处理方式制备CO<sub>2</sub>气体。制备的CO<sub>2</sub>气体在苏格兰大学环境研究中心(Scottish Universities Environmental Research Centre)利用15SDH-2型加速器质谱(Accelerator Mass Spectrometry)进行放射性<sup>14</sup>C测年,并利用University of Oxford Radiocarbon Accelerator Unit calibration program(OxCal3)软件将<sup>14</sup>C年龄校正为日历年龄。

通过与俄罗斯科学院地质与矿物研究所的合作,利用俄方同步辐射X-射线荧光分析系统进行沉积物微量元素含量分析,Rb和Sr含量分析的相对误差小于5%<sup>[6]</sup>。孢粉分析在中国地质科学院水文地质环境地质研究所孢粉实验室完成,采用常规的HF酸处理法,每个样品的孢粉统计数量约为500~

800 粒,共鉴定统计孢粉 23287 粒。

沉积物 C 和 N 含量采用美国 PE 公司生产的 PE2400II 型元素分析仪测定,测量误差小于 5%。无机碳采用化学容量法测定<sup>[7-9]</sup>,测量误差小于 5%,有机碳含量用总碳含量与无机碳含量之差求得。

### 3 结果与讨论

在白鹮湖沉积物柱芯 49cm 深度处,发现了一个非常适合于 <sup>14</sup>C 测年的陆源植物碎屑样品(样品编号:LB2-42;AMS 实验室编号为 SUERC 21789),测得碳同位素( $\delta^{13}\text{C}$ )为 -32.3‰,其 AMS <sup>14</sup>C 年龄(已利用 OxCal3 软件校正为日历年龄)为 4943±30aB. P.,由此可计算出白鹮湖平均沉积速率约为 1cm/100a。白鹮湖位于(半)原始森林区,基本不受人为活动影响,其沉积速率相对保持稳定,采用内插法可计算各沉积物样品的对应年代。该沉积物柱芯记录了白鹮湖过去 5000 多年来的生态环境变化历史。

#### 3.1 沉积物有机质 C/N 比值变化

由图 2 可见,白鹮湖沉积物柱芯有机质 C/N 比呈现出明显的 3 个阶段变化特征:3kaB. P. 以前,有机质 C/N 比总体上较为稳定,在 17 左右波动;3.0~2.2kaB. P.,有机质 C/N 比持续下降,由 16.5 急剧下降到 13;2.2kaB. P. 至今,有机质 C/N 比保持稳定,在 13 左右小幅波动。

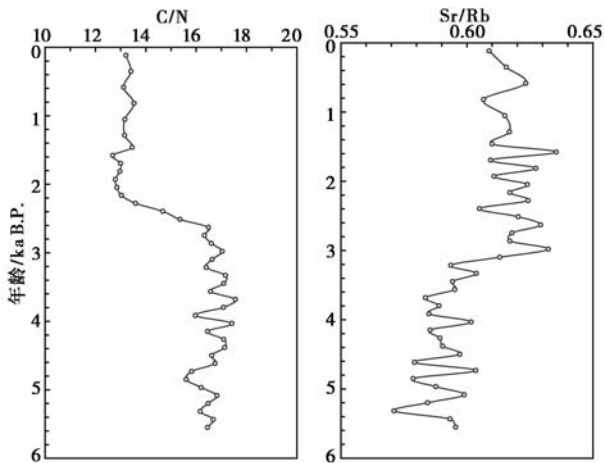


图 2 白鹮湖沉积物柱芯有机质 C/N 和 Sr/Rb 比值变化  
Fig. 2 TOC/N and Sr/Rb ratios of the sediment core at Lake Baixian

众多研究表明,湖泊沉积物有机质的 C/N 比可有效指示有机质的来源<sup>[10-12]</sup>。湖泊水生植物含有较多的蛋白质,其 C/N 比一般小于 12;陆源有机质富含腐殖质,其 C/N 比通常为 20~30。现场采集

的白鹮湖周围树叶的 C/N 比测定结果为 22,采集的白鹮湖水草的 C/N 比为 12,进一步验证了白鹮湖沉积物有机质 C/N 比可用于揭示其有机质来源变化。白鹮湖沉积物有机质 C/N 比自 3.0kaB. P. 到 2.2kaB. P. 的突然持续下降表明该时期陆源有机质输入显著减少,可能意味着白鹮湖流域陆地植被及生产力在此期间显著减少。

#### 3.2 沉积物孢粉变化

植物在繁殖期间要撒出大量花粉(种子植物)和孢子(苔藓类、蕨类等),一部分孢粉散落在土壤表面,随地表径流迁移入湖;一部分孢粉随风飘扬,直接沉降到湖泊,并保存在沉积物中。不同植物种属的孢粉形态各不一样,因此,根据沉积物不同层位的孢粉形态分析,可以判断其母体植物种属,从而可揭示各个时期湖盆流域的主要植被,进而可推断该地区的植物与气候变迁。

白鹮湖沉积物柱芯孢粉记录表明,从 3.6kaB. P. 到 2.2kaB. P. 白鹮湖地区低等植物蕨类所占比例由不足 10% 快速增加至 30% 以上,而草本植物则由 60% 快速下降至不足 40%(图 3),显示出明显的陆地植被退化。由上述分析可知,白鹮湖沉积物有机质 C/N 比和孢粉记录均指示在 3kaB. P. 前后该地区陆地植被发生了明显退化。由于沉积物有机质 C/N 比对流域植被变化的响应有一定延迟效应,其记录的流域植被退化起始时间略晚于孢粉记录。

#### 3.3 沉积物 Sr/Rb 比值变化

从图 2 可见,白鹮湖沉积物柱芯 Sr/Rb 比值表现出明显的 3 个阶段变化特征:3.6kaB. P. 以前,沉积物 Sr/Rb 比总体上较为稳定,在 0.59 左右波动;3.6~3.0kaB. P.,沉积物 Sr/Rb 比持续增大,由 0.59 迅速上升到 0.63;3.0kaB. P. 至今,沉积物 Sr/Rb 比值保持稳定,在 0.62 左右小幅波动。

在地表风化过程中,铷(Rb)、锶(Sr)地球化学行为的显著差异早就引起了国内外学者的关注<sup>[13-17]</sup>。Rb 的离子半径与钾相近,在自然界主要以类质同像形式赋存于钾长石、云母等相对难风化的含钾矿物中,在风化过程中释放出的 Rb 也易于进入含钾的粘土矿物,因此在岩石风化成土过程中大部分 Rb 残留在原地;Sr 的离子半径与钙相近,表现出与钙相似的地球化学行为,主要赋存在斜长石、碳酸盐等易风化的矿物中,在风化过程中多以溶解 Sr<sup>2+</sup> 的形式迁移而淋失<sup>[14,17-20]</sup>。Dasch<sup>[17]</sup>早在 20 世纪 60 年代对风化

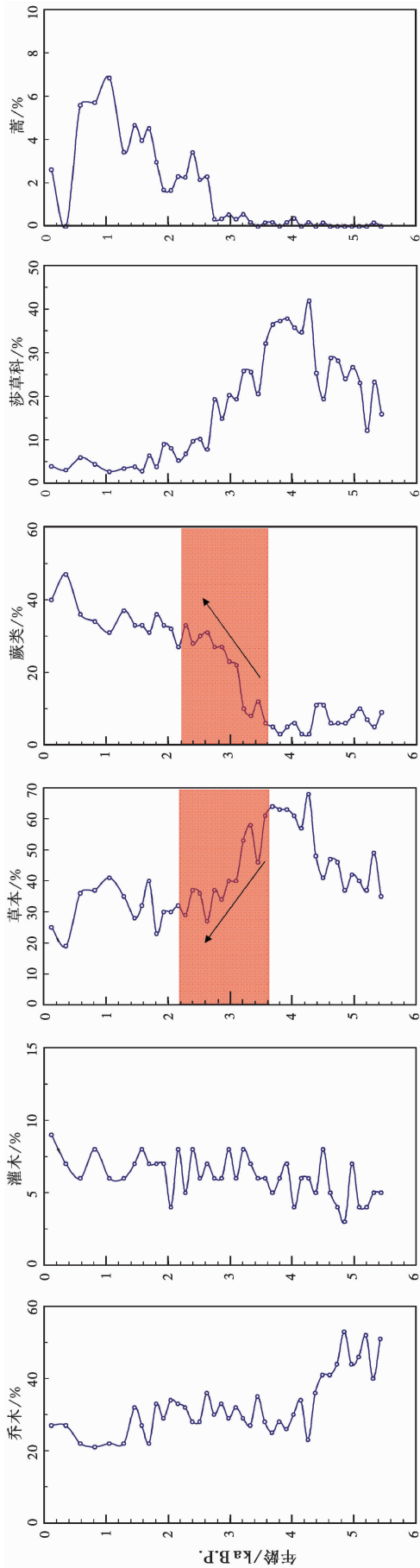


图3 白鹳湖沉积物主要孢粉类型百分比变化  
Fig. 3 Percentages of major pollen taxa from the sediment core at Lake Baixian

剖面 Rb 和 Sr 变化的研究中就发现,随着风化程度增强,岩石与土壤的 Sr/Rb 比值逐渐减小。因此,提出 Sr/Rb 比值可反映母岩风化程度<sup>[17]</sup>。在对中国黄土-古土壤序列微量元素的研究过程中,国内外学者利用黄土剖面的 Rb/Sr 比值成功反演了黄土高原数万年以来的化学风化历史与气候变化<sup>[13,18,21-23]</sup>。白鹳湖是一个面积很小的湖泊,湖水仅 2m 深,溶解态物质因在水中寄宿时间短而难以大量沉淀,其沉积物主要来源于流域侵蚀带来的风化残留物,因而可记录流域化学风化历史。

白鹳湖沉积物柱芯 Sr/Rb 比值变化自 3.6kaB. P. 到 3.0kaB. P. 的持续增大反映流域岩石化学风化作用明显减弱。岩石化学风化作用主要受温度、降雨量等控制,在热带亚热带地区降雨量起主要作用。因此,白鹳湖 3.6~3.0kaB. P. 期间岩石化学风化作用减弱可能指示了该时期降雨量减少。这就给我们一个启示:白鹳湖流域在 3.0kaB. P. 前后出现的显著植被退化与生态环境变化也可能是气候变化引起的。

### 3.4 气候变化与生态环境变化的耦合关系

综上所述,白鹳湖沉积物有机质 C/N 比值、Sr/Rb 比值和孢粉记录均指示该地区在 3.0kaB. P. 前后发生了显著的生态环境变化。白鹳湖位于喀斯特(半)原始森林区,基本不受人为活动影响,因此该地区 3.0kaB. P. 前后出现的显著生态环境变化不可能是人类活动造成的,气候变化可能是导致上述变化的主要原因。

在研究区白鹳湖以北约 10km 处的荔波县桐塘乡董哥洞,已有研究者发现了适合于古气候重建的石笋记录,并通过高精度的 TIMS-U 系测年和碳、氧同位素分析,建立了贵州荔波地区近万年来的古气候变化序列<sup>[24-26]</sup>。众多研究表明,石笋氧同位素组成主要受温度和大气降水氧同位素组成控制,贵州地区降水氧同位素组成主要受降雨量效应影响,荔波董哥洞石笋氧同位素主要指示了降雨量变化:低的石笋  $\delta^{18}\text{O}$  值指示降雨量大,高的石笋  $\delta^{18}\text{O}$  值指示降雨量减少<sup>[25,26]</sup>。

董哥洞石笋氧同位素研究结果表明<sup>[26]</sup>,研究区在 3.6kaB. P. 以前,石笋  $\delta^{18}\text{O}$  值偏负,表明该时期气候较为湿润;从 3.6kaB. P. 到 2.2kaB. P.,石笋  $\delta^{18}\text{O}$  值持续增大,指示气候呈明显的干旱化趋势(图 4)。事实上,白鹳湖的孢粉变化也记录到了这一气候变化事件。从图 3 可见,草本植物中喜湿的

莎草科从 3.6kaB. P. 到 2.2kaB. P. 明显减少, 而反映干旱气候的蒿则明显增加。王绍武等<sup>[27-29]</sup>的研究结果也表明, 我国 4~2kaB. P. 为一持续近 2000 年的干旱期。白鹈湖地区 3.0kaB. P. 前后发生的显著生态环境变化很可能就是由这一持续气候干旱事件造成的。

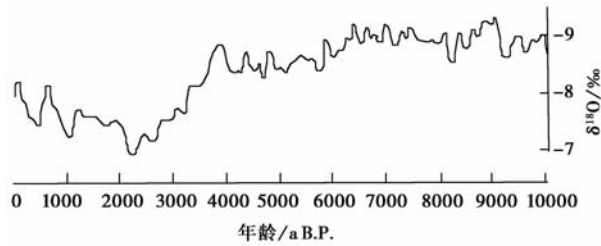


图 4 荔波董哥洞石笋  $\delta^{18}\text{O}$  变化<sup>[26]</sup>

Fig. 4 Oxygen isotope composition of the stalagmite in Dongge Cave, Libo, Guizhou Province<sup>[26]</sup>

由此可作如下推论: 3.6~2.2kaB. P. 白鹈湖地区气候持续向干旱化方向发展, 导致流域植被退化, 化学风化减弱, 沉积物 C/N 比持续降低、Sr/Rb 比迅速增大, 指示当时生态环境快速恶化。对比沉积物 C/N 比值和 Sr/Rb 比值的剖面变化 (图 2) 不难发现, Sr/Rb 比值在干旱事件出现后 (3.6kaB. P.) 迅速增大并保持在高值附近波动, 反映在气候干旱化时流域岩石化学风化作用迅速减弱并达到新的平衡状态; 而沉积物有机质 C/N 比值在干旱初期 (3.6~3.0kaB. P.) 仍在高值区波动, 略呈下降趋势, 在干旱中期 3.0kaB. P. 才开始迅速下降, 表明沉积物有机质 C/N 比值对流域植被变化的响应有一定延迟效应。

## 4 结论

(1) 3.6~2.2kaB. P. 白鹈湖地区出现持续的气候干旱事件, 导致流域陆地植被显著退化, 草本植物减少, 蕨类植物增加, 湖泊陆源有机质输入减少, 沉积物有机质 C/N 比值降低。该干旱事件还导致流域化学风化作用减弱, 沉积物 Sr/Rb 比值增大。

(2) 喀斯特地区生态环境具先天脆弱性, 自然气候变化对喀斯特地区生态环境可产生重大影响。今后需进一步加强喀斯特地区高分辨率气候变化与生态环境变化研究, 以深刻揭示极端气候事件对生态环境的影响机制与过程, 为该地区应对气候变化提供更多基础资料和科学依据。

## 参考文献 (References)

- Bond G, Broecker W, Johnsen S *et al.* Correlations between climate records from north-Atlantic sediments and Greenland ice. *Nature*, 1993, **365**:143~147
- 王绍武. 全新世气候. 气候变化研究进展, 2009, **5**(4):247~248  
Wang Shaowu. Holocene climate. *Advances in Climate Change Research*, 2009, **5**(4):247~248
- 万国江. 碳酸盐岩与环境 (卷一). 北京: 地震出版社, 1995. 1~90  
Wan Guojiang. Carbonates and Environment (Vol. 1). Beijing: Seismological Press, 1995. 1~90
- 万国江. 碳酸盐岩与环境 (卷二). 北京: 地震出版社, 2000. 1~6  
Wan Guojiang. Carbonates and Environment (Vol. 2). Beijing: Earthquake Press, 2000. 1~6
- 王雨春, 黄荣贵, 万国江. SWB-1 型便携式湖泊沉积物-界面水取样器的研制. 地质地球化学, 1998, **26**(1):94~96  
Wang Yuchun, Huang Ronggui, Wan Guojiang. A newly developed sampler for collecting samples near the lacustrine sediment-water interface. *Geology-Geochemistry*, 1998, **26**(1):94~96
- Kalugin I, Daryin A, Smolyaninova L *et al.* 800-yr-long records of annual air temperature and precipitation over Southern Siberia inferred from Teletskoye Lake sediments. *Quaternary Research*, 2007, **67**(3):400~410
- 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  
Chen Jing'an, Wan Guojiang, Wang Fushun *et al.* Environment records of carbon in recent sediments. *Science in China (Series D)*, 2002, **45**(10):875~884
- 罗莎莎, 万国江. 云贵高原湖泊沉积物——水界面铁、锰、硫体系的研究进展. 地质地球化学, 1999, **27**(3):47~52  
Luo Shasha, Wan Guojiang. New progress in the study of Fe, Mn and S systems at the sediment-water interface of lakes on Yunnan-Guizhou Plateau. *Geology-Geochemistry*, 1999, **27**(3):47~52
- 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983. 1~457  
Li Youkai. Routine Chemical Analysis Method on Agriculture about Soil. Beijing: Science Press, 1983. 1~457
- Meyers P A, Ishiwatari R. Lacustrine organic geochemistry——An overview of indicators of organic-matter sources and diagenesis in lake-sediments. *Organic Geochemistry*, 1993, **20**(7):867~900
- Dean W E. The carbon cycle and biogeochemical dynamics in lake sediments. *Journal of Paleolimnology*, 1999, **21**(4):375~393
- Chen Jing'an, Wan Guojiang, Wang Fushun *et al.* Environmental records of carbon in recent lake sediments. *Science in China (Series D)*, 2002, **45**(10):875~884
- Chen Jun, An Zhisheng, Head J. Variation of Rb/Sr ratios in the loess-paleosol sequences of Central China during the last 130,000 years and their implications for monsoon paleoclimatology. *Quaternary Research*, 1999, **51**(3):215~219
- 陈 骏, 安芷生, 汪永进等. 最近 800ka 洛川黄土剖面中 Rb/Sr 分布和古季风变迁. 中国科学(D辑), 1998, **28**(6):498~504  
Chen Jun, An Zhisheng, Wang Yongjin *et al.* Distribution of Rb and Sr in the Luochuan loess-paleosol sequence of China during the last 800ka: Implication for paleomonsoon variations. *Science in China*

致谢 感谢审稿专家提出的建设性修改意见。

- (Series D), 1998, **28**(6): 498 ~ 504
- 15 陈 骏, 季峻峰, 仇 纲等. 陕西洛川黄土化学风化程度的地球化学研究. 中国科学(D辑), 1997, **27**(6): 531 ~ 536  
Chen Jun, Ji Junfeng, Qiu Gang *et al.* Geochemical studies on the intensity of chemical weathering in Luochuan loess-paleosol sequence. *Science in China*(Series D), 1998, **41**(3): 235 ~ 241
- 16 Goldstein S L. Decoupled evolution of Nd and Sr isotopes in the continental-crust and the mantle. *Nature*, 1988, **336**: 733 ~ 738
- 17 Dasch E J. Strontium isotopes in weathering profiles, deep-sea sediments, and sedimentary rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1969, **33**(12): 1521 ~ 1552
- 18 庞奖励, 黄春长, 张占平. 陕西岐山黄土剖面 Rb、Sr 组成与高分辨率气候变化. 沉积学报, 2001, **19**(4): 637 ~ 641  
Pang Jiangli, Huang Chunchang, Zhang Zhanping. Rb、Sr elements and high resolution climatic records in the loess-paleosol profile at Qishan, Shaanxi. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, **19**(4): 637 ~ 641
- 19 陈 骏, 汪永进, 季峻峰等. 陕西洛川黄土剖面的 Rb/Sr 值及其气候地层学意义. 第四纪研究, 1999, (4): 350 ~ 356  
Chen Jun, Wang Yongjin, Ji Junfeng *et al.* Rb/Sr variations and its climatic stratigraphical significance of a loess-paleosol profile from Luochuan, Shaanxi Province. *Quaternary Sciences*, 1999, (4): 350 ~ 356
- 20 刘英俊, 曹励明, 李兆麟等. 元素地球化学. 北京: 科学出版社, 1984. 1 ~ 143  
Liu Yingjun, Cao Liming, Li Zhaolin *et al.* Geochemistry of Elements. Beijing: Science Press, 1984. 1 ~ 143
- 21 陈 旸, 陈 骏, 刘连文等. 最近 13 万年来黄土高原 Rb/Sr 记录与夏季风时空变迁. 中国科学(D辑), 2003, **33**(6): 513 ~ 519  
Chen Yang, Chen Jun, Liu Lianwen *et al.* Spatial and temporal changes of summer monsoon on the Loess Plateau of Central China during the last 130ka inferred from Rb/Sr ratios. *Science in China*(Series D), 2003, **33**(6): 513 ~ 519
- 22 陈 骏, 安芷生, 刘连文等. 最近 2.5Ma 以来黄土高原风尘化学组成的变化与亚洲内陆的化学风化. 中国科学(D辑), 2001, **31**(2): 136 ~ 145  
Chen Jun, An Zhisheng, Liu Lianwen *et al.* Variations in chemical compositions of the eolian dust in Chinese Loess Plateau over the past 2.5Ma and chemical weathering in the Asian inland. *Science in China*(Series D), 2001, **44**(5): 403 ~ 413
- 23 Gallet S, Jahn B M, Torii M. Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications. *Chemical Geology*, 1996, **133**(1 ~ 4): 67 ~ 88
- 24 Wang Yongjin, Cheng Hai, Edwards R L *et al.* The Holocene Asian monsoon: Links to solar changes and North Atlantic climate. *Science*, 2005, **308**: 854 ~ 857
- 25 Yuan Daoxian, Cheng Hai, Edwards R L *et al.* Timing, duration, and transitions of the last interglacial Asian Monsoon. *Science*, 2004, **304**: 575 ~ 578
- 26 张美良, 程 海, 林玉石等. 贵州荔波 1.5 万年以来石笋高分辨率古气候环境记录. 地球化学, 2004, **33**(1): 65 ~ 74  
Zhang Meiliang, Cheng Hai, Lin Yushi *et al.* High resolution paleoclimatic environment records from a stalagmite of Dongge Cave since 15000a in Libo, Guizhou Province, China. *Geochimica*, 2004, **33**(1): 65 ~ 74
- 27 王绍武. 4.2kaBP 事件. 气候变化研究进展, 2010, **6**(1): 75 ~ 76  
Wang Shaowu. 4.2kaBP event. *Advances in Climate Change Research*, 2010, **6**(1): 75 ~ 76
- 28 王绍武, 黄建斌, 闻新宇等. 4 ~ 2ka BP 中国干旱的证据和模拟研究. 科学通报, 2007, **52**(20): 2428 ~ 2434  
Wang Shaowu, Huang Jianbin, Wen Xinyu *et al.* Evidence and modeling study of droughts in China during 4 ~ 2kaBP. *Chinese Science Bulletin*, 2008, **53**(14): 2215 ~ 2221
- 29 王绍武. 全新世北大西洋冷事件: 年代学和气候影响. 第四纪研究, 2009, **29**(6): 1146 ~ 1153  
Wang Shaowu. Holocene cold events in the North Atlantic: Chronology and climatic impact. *Quaternary Sciences*, 2009, **29**(6): 1146 ~ 1153

## DRY EVENT AT 4 ~ 2kaB. P. RECORDED BY THE SEDIMENTS OF BAIXIAN LAKE AND IT'S IMPACT ON THE REGIONAL ECO-ENVIRONMENT

Chen Jing'an<sup>①</sup> Zeng Yan<sup>①②</sup> Zhang Wei<sup>③</sup> Li Jian<sup>①</sup> Zhu Zhengjie<sup>①</sup>

(<sup>①</sup>State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002; <sup>②</sup>Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; <sup>③</sup>Guizhou Research and Designing Institute of Environmental Science, Guiyang 550002)

### Abstract

The karst region is sensitive to climate change because of its environmental vulnerability and thus becomes an ideal place to study the coupling process of changes in climate and eco-environment. Baixian Lake in south East Guizhou Province is a typical karst lake. A sediment core recovered from the lake was analyzed for organic C/N ratio, Rb/Sr ratio and pollen assemblage to understand the process of environmental changes in karst regions. During the period of 3.6 ~ 2.2kaB. P., the regional vegetation declined with decreasing herbs and increasing ferns, the input of terrestrial organic matter to the lake was reduced, and the C/N ratios of organic matter in the lake sediments decreased, indicating the drying of the climate. The Sr/Rb ratios of the core sediments were high during this interval, denoting the weakening of chemical weathering intensity in the lake basin. The history of changes in the climate and eco-environment of the Baixian Lake region over the last 5000 years suggests that the natural process of climate changes could have a key impact on the eco-environment of karst regions.

**Key words** karst, Baixian Lake, sediments, climate change, eco-environment