35 Luo Z W, Thompson R, Woolliams J A. A population genetics model of marker-assisted selection. Genetics, 1997, 146: 1173~ 1183
36 Hill W G, Robertson A. Linkage disequilibrium in finite populations. Theor Appl Genet, 1968, 38: 226~ 231
37 Kimura M. Evolutionary rate at the molecular level. Nature, 1968, 217: 624~ 626
38 Gillespie J H. The Causes of Molecular Evolution. New York: Oxford University Press, 1991
39 Freimer N B. Expanding on population studies. Nature Genetics, 1997, 17: 371~ 373

(1998-10-28 收稿)

中国湖泊沉积与环境演变研究的新进展

王苏民 张振克
(中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境开放实验室, 南京 210008)

摘要 综合分析了80年代后期以来中国湖泊沉积与环境演变研究的新进展, 着重对湖泊沉积记录与亚洲古季风变迁、青藏高原隆升的湖泊沉积记录、高分辨率湖泊钻探研究、盐湖沉积与环境演变、人与自然相互作用的湖泊响应、现代湖泊生物地球化学作用等方面进行了扼要综述, 指出今后中国湖泊沉积与环境演变研究的主要内容, 包括湖泊沉积环境指标与气候要素关系的定量研究、高分辨率环境演化时间序列与空间分异规律、现代湖泊沉积动态过程与环境、中国第四纪湖泊数据库与全球变化研究.

关键词 **湖泊沉积 环境演变 新进展 中国**

1986年国际科学联合理事会(ICSU)组织实施的以全球环境变化研究为核心的国际地圈生物圈计划(IGBP), 在重视现代全球变化过程研究的同时, 亦强调对过去全球变化(PAGES)的研究. IGBP的目标是增强对未来几十年至百年全球变化的预测能力, 为国家和全球的资源管理和环境战略决策服务.

湖泊沉积记录的环境演变研究是PAGES的重要研究领域之一, 我国湖泊沉积与环境研究在80年代中期以前主要是围绕石油、煤炭、盐湖盐矿资源的勘探与开发, 对中、新生代盆地的古湖泊沉积与环境进行较深入的研究[1]. 80年代后期以来由国家科委、国家自然科学基金委、中国科学院、各部委资助的有关研究项目组成了我国全球变化研究计划的核心[2], 其中利用湖泊沉积进行环境演变研究已成为十分活跃的领域, 有力地推动了中国PAGES研究的发展. 本文就80年代后期以来中国湖泊沉积与环境演变领域的进展与展望提出雏议.

1 湖泊沉积与环境研究的新进展

1.1 研究范围扩大、内容丰富、成果显著

我国自然环境的区域差异显著, 不同区域的湖泊沉积与环境演变过程存在较大差异. 80年代后期以来湖泊沉积与环境演变研究的专著和论文涉及的研究范围扩大, 内容日益丰富, 成果显著, 其中主要有青藏高原盆地(古湖泊)、湖泊和盐湖[3~ 34]、新疆干旱区湖泊和盐湖[35~ 44]、内蒙古高原湖泊和盐湖[45~ 56]、中国东部平原湖泊[57~ 75]、云贵高原湖泊[76~ 83]和台湾高山湖泊[84, 85]. 借鉴国际湖泊沉积环境研究, 采用多环境指标从不同的角度对湖泊环境进行综合判识, 研究水平不断提高. 对与湖泊沉积相关的现代湖泊资源开发与环境也进行了较深入的研究, 对合理开发利用湖泊资源和解决中国当前日益严重的湖泊富营养化、水污染等环境问题进

行积极的探索[86~91]. 在前期湖泊环境调查研究的基础上完成的《中国湖泊环境》[90]与《中国湖泊志》[91], 是中国湖泊科学研究的重要工具书.

1.2 重视不同时间尺度环境演变的高分辨率、多环境指标综合研究

研究不同时间尺度湖泊沉积记录的环境演化过程十分必要, PAGES 执委会明确提出 2 和 200 ka 2 个时间序列作为重点, 并要求 2 ka 的环境变化序列最好与器测资料连接, 为预测环境变化趋势和幅度服务. 为了探讨新生代以来地球构造-气候演化阶段、过程, 还需要利用湖泊沉积记录重建百万和千万年级区域环境演化史. 80 年代后期以来中国湖泊沉积与环境演变研究, 主要集中在晚冰期-全新世以来的时段上, 重视高分辨率、多环境指标的综合研究是近年来我国湖泊沉积与环境演变研究的显著特征[92, 93]. 湖泊沉积的信息丰富, 但具有混合性, 多环境指标分析是进行合理解释的前提, 目前对湖泊沉积物已开展分析的环境指标有孢粉、硅藻、介形类、矿物、色素、磁性参数、元素含量及其比值、碳酸盐含量、自生碳酸盐氧碳同位素、有机碳同位素、氢指数、有机化合物等. 多环境指标的综合判识在恢复古温度、古降水、古盐度、古生产力和历史时期人类活动影响方面显示较强的优势[93]. 历史时期湖泊沉积记录的环境变化研究表明: 湖泊对于小冰期、中世纪暖期等气候特征期的响应区域差异明显[45, 56, 59, 72, 84]; 湖泊沉积记录的环境突变与历史文献记载的人类活动事件有较好的一致性[56, 59, 72].

青藏高原东北部边缘的临夏盆地, 其河湖相沉积剖面记录了 30Ma 以来的环境演化, 对认识晚新生代的高原隆升过程和亚洲古季风演化具有重要意义[4]. 若尔盖盆地和甜水海盆地的古湖泊深钻研究, 分别获得 900 和 24 ka 的沉积记录, 对认识青藏高原环境变化序列和高原隆升环境效应的区域差异有积极作用[12, 23]. 对青藏高原腹地的湖泊和盐湖沉积的综合研究, 揭示了 40 kaBP 以来青藏高原古气候的变化序列[9].

1.3 新技术新方法的应用

湖泊沉积与环境演变研究十分重视新技术新方法的运用, 以加深湖泊沉积与环境演变研究的深度. ^{137}Cs 和 ^{210}Pb 方法广泛用于现代沉积计年, 在此基础上计算现代湖泊沉积物沉积速率与沉积通量[94~96]. 在建立现代花粉-气候模型的基础上, 定量研究古气候变化[48]; 在生物地球化学方面, 利用介形虫壳体的 Sr/Ca 和 Mg/Ca, 定量分析湖水古盐度变化[3], 介形类壳体的氧同位素用于恢复古湖泊水位波动和古气候变化[3, 15, 33]; 在湖泊环境磁学方面, 研究湖泊沉积的磁性参数与磁性矿物类型、浓度的关系, 探讨环境磁学的机理[1]; 根据湖泊表层沉积物中有机组分与现代水生植被关系的研究[2], 用沉积物有机指标指示湖泊的古环境类型; 对青海湖近代湖泊沉积物中的长链不饱和脂肪酮的研究发现: 不饱和脂肪酮的丰度和类型与原始的藻类输入有关, 可以指示湖泊盐度和气温的变化[31]. 同时现代湖泊环境研究将遥感技术、数值模拟运用到现代湖泊环境动态变化研究中[88, 97, 98]; 重视湖泊现代生物演替的环境效应、沉积物营养盐的释放与水-土界面生物地球化学作用的研究[99~102]. 上述研究的目的在于深化理论研究, 寻求古气候古环境要素定量复原的途径, 在实践上解决日益严重的湖泊环境问题.

1.4 加强国际学术交流与合作研究

近年来湖泊研究领域的国际学术交流与合作研究不断加强. 湖泊污染与富营养化、湖泊淤积与沼泽化是我国湖泊面临的严重环境问题. 1990 年"第四届国际湖泊保护与管理大会"

1) 胡守云, 王苏民, Appel E. 湖泊沉积物磁化率变化的环境磁学机制. 中国科学(待刊)

2) 瞿文川, 王苏民, 吴瑞金, 等. 生物标记化合物对东西太湖不同湖泊类型的判识. 海洋与湖沼 (待刊)

在杭州召开之后, 国际合作进行现代湖泊环境整治的研究不断加强; 1997 年在无锡-南京召开“国际水环境新对策会议”, 会议通过“太湖宣言”, 旨在加强湖泊水环境领域的国际合作. 80 年代以来的国际合作进行的古湖泊学研究涉及不同气候区的许多湖泊, 推动了中国湖泊沉积与环境演变研究的发展. 1994 年 7 月第 6 届国际盐湖会议在北京召开, 在盐湖沉积与古气候领域得到国际同行专家的肯定. 国外湖泊沉积与环境著作被翻译成中文, 具代表性有《湖泊沉积学原理》[103]、《湖泊的化学地质学和物理学》[104]和《古湖泊学译文集》[105].

2 湖泊沉积与环境研究新进展的重要领域

2.1 湖泊沉积环境演变与亚洲古季风变迁

以黄土研究为主导而创立的东亚古季风理论是对第四纪环境研究的重大贡献, 湖泊沉积记录的冷暖干湿组合及其反映的古湖泊水位波动是对黄土记录的重要补充, 也是国际上建立气候模型的重要依据[106~108]. 不同区域的湖泊沉积物高分辨率的综合研究揭示了中国冰后期以来东亚季风的时空变迁特征: 冰后期高湖面的出现时间具有北早南晚、由北和西北向南、东南方向迁移的特征; 高湖面的出现与东亚夏季风极锋雨带位置相关[109, 110]. 对冰后期中国湖泊沉积与环境演变的研究还揭示了气候变化的不稳定性, 对青海湖[34]、色林错[10]、松西错[14]、呼伦湖[49]、固城湖[57]、艾比湖[37]等湖泊的沉积与环境演变研究明显显示 Yonger Dryas 气候冷事件的存在. 季风边缘区的研究还揭示了该事件内部存在有意义的降水变率[50].

西南季风是亚洲季风系统的重要组成部分, 末次冰期间冰阶在我国西南、西北广大地区存在异常的湖泊急剧扩张[6, 22, 35, 82], 这类广大范围的湖泊扩张与亚洲西南季风的影响有关. 某些古气候记录可以用南、北半球穿越赤道的气流相互作用来解释[111], 西南季风区的降水与越赤道索马里急流的影响有较大关系. 云贵高原湖泊在全新世初为高湖面, 中全新世湖面降低, 3500 aBP 左右出现湖泊扩张[112]. 对阿拉伯海[113]、非洲[106]、印度[114]、中国云南和尼泊尔[76, 77]晚冰期以来的海洋-湖泊沉积环境研究显示, 全新世初期西南季风加强, 中国西南地区降水增加, 形成气候湿润、高湖面环境特征; 9000 aBP 以后索马里急流异常强大, 路径向西北偏移, 给北非、西亚、中亚和青藏高原地区带来丰富的降水[36, 106, 113, 114], 相反在中国西南季风区同期降水减少, 气候偏干, 湖面降低, 云南鹤庆盆地的研究还发现相间较短时段的冷湿环境[115]; 青藏高原湖泊沉积记录的古气候演变[9]显示约 4000 aBP 开始出现明显冷干特征, 指示西南季风强度减弱, 而西南云贵高原一度降水增加, 湖面升高[82, 112].

2.2 青藏高原隆升的湖泊沉积记录

青藏高原隆升对亚洲与全球气候及环境变化的影响是国际 PAGES 的重要研究内容, 对高原古湖泊沉积记录的研究有助于对高原隆升过程的认识. 青藏高原东北部边缘的临夏盆地和南部的吉隆盆地河湖相(以湖相地层为主) 沉积, 分别记录 30 和 7.0 MaBP 以来的环境演化历史, 对认识青藏高原晚新生代的高原隆升有重要意义. 临夏盆地的沉积记录显示了3.4 MaBP 开始沉积环境发生重大变化, 可能代表青藏高原开始强烈隆升和高原主夷平面的解体过程; 2.5和 1.70~ 1.66 MaBP 相继发生强烈隆升, 高原环境与现今接近, 之后的高原河流的阶段性下切最终普遍形成 7 级阶地, 0.8 MaBP 高原河流的下切也很强烈, 反映构造抬升强烈[4]; 高原南部吉隆盆地, 沉积记录 7.0 MaBP 以来的环境变迁, 反映高原南部喜马拉雅山的抬升开始于 7.0 MaBP 以前, 但强烈上升发生在 2.0~ 1.7 和 0.8 MaBP 以来; 重要的气候事件发生在 5.7 和

2.5 MaBP, 冰期与间冰期的气候旋回始于1.7 MaBP, 并于0.8 MaBP后得到加强[8]. 若尔盖RH和RM孔湖泊深钻研究显示, 湖泊沉积对高原的隆升也有明显反映, 700 kaBP高原隆升加快, 350和160 kaBP若尔盖地区的构造抬升强烈, 沉积速率加大、粒度增粗, 并于30 kaBP黄河切穿若尔盖盆地[16].

2.3 高分辨率湖泊深钻研究

若尔盖RH孔的综合研究建立了近百万年来青藏高原东部高分辨率的环境演化过程, 划分出21个阶段, 基本可以与深海氧同位素阶段对比[13]; 与洛川黄土记录的古环境演化也有较好的可比性, 反映过去全球气候变化的环境响应的一致性[12]. RH孔湖泊记录表明青藏高原隆升的不同阶段环境变化明显, 900~ 700 kaBP以冷干与暖湿的气候组合为特征; 700~480 kaBP高原全面进入冰冻圈, 发育大规模冰帽冰川, 表现为冷湿、暖干的气候组合; 480~ 160 kaBP高原环境日趋冷干, 是低生物量时期; 160~ 0 kaBP有效湿度增大, 以冷干、暖湿气候交替为特征, 奠定今日环境的格局[13]. 与冰芯GRIP的对比分析, 揭示了末次间冰期早期(5e)气候的不稳定特征, 并与北大西洋海洋沉积记录的Heinrich事件有较好相关[18].

2.4 盐湖沉积与环境演变研究

我国现代盐湖分布广泛、类型多样, 在世界盐湖研究中占有重要地位. 在前期盐湖盐矿资源调查的基础上, 80年代后期以来对青藏高原盐湖、新疆-内蒙古盐湖成因、环境演化的研究不断加深, 并有《青藏高原盐湖》[5]、《西藏盐湖》[116]、《内蒙古盐湖》[52]等专著问世. 1994年第6届国际盐湖学术讨论会在北京召开, 中国学者向国际同行展示了我国盐湖研究的新进展, 对青藏高原盐湖沉积的综合研究, 建立了40 kaBP以来的古环境-古气候演化, 40~ 28 kaBP存在最年青的泛湖期; 不同阶段各个区域的盐湖沉积记录对比发现: 冰后期青藏高原的转暖(湿)期的出现具有由南、东南向北、西北渐晚的穿时性, 南部出现在13 kaBP, 北部开始于11~9.5 kaBP[9]. 对青藏高原晚新生代地质年代、夷平面、阶地的综合研究发现, 2.8 MaBP以来高原有4次构造抬升, 其中30 kaBP以来的隆升十分强烈, 上升幅度1 400 m, 对高原盐湖演化、东亚和全球环境变化有重要影响[21]; 盐湖的形成演变与30 ka以来高原迅速上升引起的河流溯源侵蚀和高原内部的断块升降有关, 高原上升造成的气候变冷干也是重要因素[21].

2.5 人与自然相互作用的湖泊沉积响应研究

历史时期湖泊沉积记录了人与自然相互作用的演变过程, 由于湖泊沉积记录连续性可以弥补历史记载中的不足. 通过对湖泊沉积环境指标的研究, 可以揭示流域环境变化的重要事件, 如火灾、河道变迁、洪水泛滥以及现代湖泊污染物在时空上的分布规律, 同时湖泊沉积也记录了气候变化和人类活动的信息. 对北京昆明湖湖泊沉积的高分辨率研究发现, 八国列强火烧圆明园的事实在湖泊沉积记录中表现为相应时段岩芯中出现大量碳屑[59]. 洪泽湖2 ka来湖泊记录的环境演变反映了人类活动和洪水灾害双重影响下的湖泊演化过程[66]; 对青海省久治县希门错近2 ka的湖泊沉积记录则主要揭示气候变化背景下的环境变迁[19]; 对山东南四湖的研究则揭示了湖泊变迁与黄河泛滥的关系[72]. 滇池现代湖泊沉积研究反映了湖泊富营养化、重金属污染的历史过程[79]. 北京房山东甘池沉积记录中碳屑含量反映火灾与植被、气候以及人类活动的关系[73]. 中国湖泊富营养化问题严重, 已对主要湖泊的富营养化现状进行了系统研究[87]. 《中国湖泊志》与《中国湖泊环境》对我国湖泊环境现状与存在问题的结论性认识与建议, 为国家和地区性的湖泊环境整治、资源开发与管理提供了科学依据. 近年来就长江

三峡工程对中、下游湖泊沉积环境的影响进行了专门研究. 三峡工程建成后1~4月份增泄流量和10月份减泄流量对鄱阳湖的沉积环境产生不同程度的影响, 10月份三峡水库蓄水, 湖口长江水位下降, 鄱阳湖湖面水位下降, 湖区泥沙冲淤发生变化, 对水生生物和鸟类活动的环境产生较大影响; 而1~4月份三峡水库增泄流量造成湖口水位的增加, 湖口梅家洲的加速淤积, 对湖区生态环境有长远影响[88]. 长江三峡建成后长江来沙减少, 荆江南岸松滋、太平、藕池三口冲刷加强、入湖河道断流时间延长, 与三口相关的入湖三角洲发育降缓, 洞庭湖的泥沙淤积减弱, 湖泊的自然消亡将大为缓解[88].

2.6 湖泊底泥营养盐释放、水-土界面生物地球化学作用的研究

湖泊沉积物是湖泊营养盐的重要蓄积库, 在适当的条件下, 沉积物营养盐释放进入湖泊水体, 加剧湖泊的有机污染. 对中国不同气候区的湖泊的沉积物营养盐的含量与湖泊富营养化的程度的关系已做了较多的研究, 富营养化严重的湖泊, 其沉积物中营养盐的含量也高; 湖泊沉积物中的氮、磷释放是浅水湖泊富营养化的关键因素之一[87].

湖泊沉积物水-土界面生物地球化学作用指新近湖泊沉积物(15cm左右)与水界面及其附近发生的在生物参与下的物理-化学过程, 是控制和调节湖泊水体和沉积物之间物质输送和交换的重要途径[99]. 研究发现: 沉积物-水界面的Fe-Mn循环受界面季节性缺氧环境的影响, 并伴随微量金属元素的再迁移, Fe-Mn循环的中断记载了湖泊环境经历剧烈变化的信息[101, 102]; 湖泊水-沉积物碳系统的研究认为湖泊中植物光合-呼吸作用与有机质降解是控制含碳物质碳同位素组成的决定因素, 沉积物中碳酸盐稳定同位素组成表征了早期成岩过程的自生碳酸盐作用, 一定深度的沉积物碳酸盐同位素组成保存了一定时段的环境变化信息[100].

3 研究展望

这里指出湖泊沉积与环境演变研究亟待深入开展研究的若干领域:

(1) 湖泊沉积环境定量化的基础理论研究. 现有湖泊沉积的高分辨率-多环境指标的综合研究发现, 不同指标间的关系十分复杂, 单项指标或多或少都带有混合性. 现阶段应在弄清指标的物理、化学、生物意义的基础上, 加强湖泊现代过程的研究, 力求在环境要素的定量方面取得突破. 在较大空间范围建立地表花粉-植被类型-气候要素相关模型; 对湖水-介形类壳体的Sr, Mg和Ca等元素含量关系与盐度进行定量研究, 自生碳酸盐 $\delta^{18}O$ 的盐度和温度效应的定量分析也有待进一步加强; 湖泊硅藻种群-湖水酸碱度的定量关系等基础理论研究也要加强. 为了定量恢复环境演变的过程, 探讨不同时空背景下沉积物环境指标与气候要素之间的关系是十分必要的.

(2) 高分辨率环境演化时间序列和空间分异规律的研究. 湖泊沉积具有覆盖面广、沉积连续的特点, 是极佳的进行高分辨率环境演化的研究对象. 要建立高分辨率环境演变的时间序列, 对长尺度、缺失年层记录的湖泊沉积需要更加精确地测定年代, 改进现有测年技术方法, 才能适应迅速发展的环境演变研究的需要. 虽然80年代后期以来建立多个湖泊的环境演化时间序列, 但分辨率不一致、采用的环境指标不尽相同, 给环境演化序列的比较和环境演化空间分异规律的研究带来较大的困难. 目前无论在时间上还是在空间上都存在空白, 非常缺乏0.1 Ma以长的湖泊记录, 难以满足区域对比的要求, 因此, 急需选择关键的地段填补空白. 例如西南地区是连接东亚季风、西南季风和高原季风的桥梁, 区域环境的长尺度演化与青藏高原升降关系密切, 是PEP2大断面中至关重要的的地点, 再者其本身的环境演化也是探讨人类起

源与进化的理想场所. 又如三门峡地区,三门古湖的形成与消失及其和黄土高原形成、黄土堆积环境的关系,对研究东亚季风的形成、黄河水系的改变以及大地貌阶梯的发育都有着重要的意义,是开展构造-气候旋回研究不可多得的地点. 1~ 10 ka 尺度上湖泊记录的环境序列的研究较多,现阶段要重视不同区域湖泊记录的环境演化的比较研究,重点分析环境演化的区域分异与季风变迁的关系,对特征时期古气候要素进行模拟,确立现今气候在环境演化过程中的相位,为未来趋势预测提供历史参考型.

(3) 现代湖泊沉积动力过程与环境关系的研究. 中国浅水湖泊众多,其环境系统复杂,在风浪、入湖水流、人类活动等因素影响下,湖泊沉积过程极不稳定,涉及到营养盐释放、有机质分解、生物生长、冲淤分布等,使得现代湖泊环境的研究难度很大. 但是为了研究湖泊记录的古环境演化和解决现代湖泊环境问题,就必须加强湖泊富营养化形成机制、现代湖泊沉积动力过程的动态观测,从自然变化和人为影响两个方面努力揭示湖泊环境演化动态过程、各要素的内在 联系和动力学机制,为古湖泊学研究和现代湖泊环境整治与管理提供科学依据.

(4) 中国第四纪湖泊数据库与全球变化研究. 通过湖岸地貌、湖泊沉积和生物地层等地学证据恢复的湖泊水位记录,可以客观反映气候降水、有效降水和湿度状况. 国际湖泊数据库研究开始于70年代后期, 依靠多个湖泊水位的同步变化, 建立区域乃至全球性古湖泊数据库,有可能比较客观地提供全球变化的信息. 全球古湖泊数据库成功地用于恢复晚第四纪以来的气候和大气环流系统的时空变化,并为比较和评价古气候模拟结果和改进大气环流模拟提供科学依据[106]. 中国湖泊水位数据库(CLLDB)的研究处于起步阶段,中国湖泊众多,分布广泛,有关湖泊的第四纪研究为建立湖泊水位数据库提供了基础. 中国第四纪湖泊水位数据库的研究可为重建东亚季风环流和季风时空变迁提供地质依据,为古大气环流模拟提供大陆下垫面边界条件,为评价和改进古气候模型提供科学依据; 根据古气候模型相互对比计划(PMIP)确定的气候模型,对中国末次冰盛期和全新世中期气候的模拟结果对预测未来气候变化的幅度具有重要借鉴意义,可以肯定中国第四纪湖泊数据库的研究有利于推动中国过去全球变化研究的发展.

(5) 学科交叉及与其他地质记录的比较研究. 湖泊是相对独立的自然综合体,是岩石圈、大气圈、水圈和生物圈相互作用的连接点,这种特点使得湖泊沉积一方面具有丰富环境信息的优势,另一方面各环境要素相互制约,在解释上带来复杂性. 这就要求对沉积物进行物理、化学、生物的多指标分析,通过多学科的交叉的综合判识,得到符合实际的结果. 湖泊流域的空间范围一般较有限,沉积记录的环境变化信息在一定程度上带有地域性,只有加强与黄土、冰芯、树轮和历史记载的比较分析,相互取长补短,才能加深对不同环境指标及其组合的理解和认识,区分出全球的、区域的和地方的环境变化信息.

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号:49572331)和中国科学院重大项目(KZ951-A1-402-04-06)资助.

参 考 文 献

1 Pu Peimin, Tu Qingying, Wang sumin. Progress of limnology in China. Chin J Oceanol Limnol, 1991, 9(3): 193~ 206

2 符淙斌, 叶笃正. 全球变化和我国未来的生存环境. 大气科学, 1995, 19(1): 116~ 126

3 张彭熹, 张保珍, 钱贵敏, 等. 青海湖全新世以来古环境参数的研究. 第四纪研究, 1994(3): 225~ 238

4 李吉均, 方小敏, 马海洲, 等. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆起. 中国科学, D辑, 1996, 26(4): 316~ 322

5 郑绵平，向 军，魏新俊，等. 青藏高原盐湖. 北京：科学出版社，1989
6 李炳元，张青松，王富葆. 喀喇昆仑山-西昆仑山地区湖泊演化. 第四纪研究，1991(1)：64~ 70
7 陈克造，Bowler J M，Kelts K. 四万年来青藏高原的气候变迁. 第四纪研究，1990(1)：21~ 31
8 王富葆，李升峰，申旭辉，等. 吉隆盆地的形成演化、环境变迁与喜玛拉雅山隆起. 中国科学，D 辑，1996，26(4)：329~ 335
9 郑绵平，刘俊英，齐 文. 从盐湖沉积探讨 40kaBP 以来青藏高原古气候演替. 见：郑绵平，盐湖资源、环境与全球变化. 北京：地质出版社，1996. 6~ 20
10 顾兆炎，刘荣谟，安川克己，等. 12000 年轮青藏高原季风变化 ——色林错沉积物地球化学的证据. 科学通报，1993，38(1)：61~ 64
11 山发寿，杜乃秋，孔昭宸. 青海湖盆地 35 万年来的植被演化及环境变迁. 湖泊科学，1993，5(1)：9~ 17
12 王苏民，薛 滨. 中更新世以来诺尔盖盆地环境演化与黄土高原的比较研究. 中国科学，D 辑，1996，26(4)：323~ 328
13 王苏民，施雅风，沈 吉，等. 青藏高原东部 800ka 来古气候与古环境变迁的初步研究. 见：青藏项目专家委员会，青藏高原形成演化环境变迁与生态系统研究学术论文年刊(1994). 北京：科学出版社，1995. 236~ 248
14 Gasse F，Arnold M，Fontes J C，et al. A 13000-year climate record from Western Tibet. Nature，1991，353(24)：742~ 745
15 Lister G S，Kelts K，Chen Kezao，et al. Lake Qinghai，China：closed-basin lake levels and the oxygen isotope record for ostracoda since the last Pleistocene. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology，1991，84：141~ 162
16 王云飞，王苏民，薛 滨，等. 黄河袭夺诺尔盖古湖的沉积学依据. 科学通报，1995，40(8)：723~ 725
17 李拴科. 中昆仑山区封闭湖泊湖面波动及其气候意义. 湖泊科学，1992，4(1)：19~ 30
18 吴敬禄，王苏民. 青藏高原东部 RM 孔碳酸盐氧同位素揭示的末次间冰期气候特征. 科学通报，1996，41(17)：1601~ 1604
19 王苏民，薛 滨，夏威岚. 希门错 2 000 多年来气候变化的湖泊记录. 第四纪研究，1997(1)：62~ 69
20 胡东生. 可可西里地区湖泊演化. 干旱区地理，1995，18(1)：60~ 67
21 朱允铸，刘成林. 青藏高原 30 ka 以来的构造上升运动及其对青藏盐湖演化、东亚及全球环境的影响. 见：郑绵平，盐湖资源、环境与全球变化. 北京：地质出版社，1996. 21~ 27
22 李世杰，郑本兴，焦克勤. 西昆仑山南坡湖相沉积和湖泊演化的初步研究. 地理科学，1991，11(4)：306~ 314
23 李世杰，李树德. 西昆仑山甜水海两个钻孔的研究及其意义. 冰川冻土，1991，13(2)：187~ 188
26 胡东生，陈克造. 近代察尔汗盐湖的变迁. 科学通报，1990，35(24)：1888~ 1891
27 黄 麟. 青海湖沉积物的沉积速率及古气候演变的初步研究. 科学通报，1988，33(22)：1740~ 1744
28 李元芳，张青松，李炳元. 青藏高原西部地区晚更新世晚期以来的介形类与环境演变. 见：中国青藏高原研究会，青藏高原与全球变化研讨会论文集. 北京：气象出版社，1995. 52~ 61
29 张彭熹，张保珍，杨文博. 青海湖冰后期以来古气候波动模式的研究. 第四纪研究，1989，(1)：66~ 77
30 张平中，王先彬，陈践发，等. 湖相有机质的氢指数及碳同位素组成. 科学通报，1995，40(18)：1 682~ 1 685
31 李景贵，范 璞，Philip R P，et al. 青海湖沉积物中的长链不饱和脂肪酮(长链烯酮). 沉积学报，1995，13(1)：1~ 6
32 卫克勤，林瑞芬. 内陆封闭湖泊自生碳酸盐氧同位素剖面的古气候意义. 地球化学. 1995，24(3)：215~ 224
33 吉 磊，朱育新，王苏民. 介形类微量元素分析应用于诺尔盖盆地 RM 孔的古环境解释. 见：青藏项目专家委员会，青藏高原形成演化环境变迁与生态系统研究学术论文年刊(1995). 北京：科学出版社，1996. 123~ 129
34 中国科学院兰州分院，中国科学院西部资源环境研究中心. 青海湖近代环境的演化和预测. 北京：科学出版社，1994
35 施雅风，文启忠，曲耀光. 新疆柴窝堡盆地第四纪气候环境变迁和水文地质条件. 北京：海洋出版社，1990. 152~ 157
36 林瑞芬，卫克勤，Gasse F，et al. 新疆玛纳斯湖沉积柱样的古气候古环境研究. 地球化学，1996，25(1)：63~ 72
37 李国胜. 艾比湖冰消期以来的 $\delta^{13}C$ 记录与突变气候事件研究. 科学通报，1993，38(22)：2 069~ 2 072
38 韩淑堤，瞿 章. 北疆巴里坤湖内陆型全新世气候特征. 中国科学，B 辑，1993，23(11)：22~ 31
39 羊向东，王苏民. 一万多年来乌伦古湖地区花粉组合及其古环境. 干旱区研究，1994，11(2)：7~ 10
40 吴敬禄. 新疆艾比湖全新世沉积特征及古环境演化. 地理科学，1995(1)：39~ 46
41 文启忠，乔玉楼. 新疆地区 13000 年来的气候序列初探. 第四纪研究，1990(4)：363~ 368
42 郑绵平，齐 文，吴玉书，等. 晚更新世以来罗布泊盐湖的沉积环境和找钾前景初析. 科学通报，1991，36(23)：1810~ 1813
43 李秉孝，蔡碧琴，梁青生. 吐鲁番盆地艾丁湖沉积特征. 科学通报，1989，34(8)：608~ 610

44 王靖泰, 焦克勤. 柴窝铺-达坂城地区地貌第四纪沉积及湖面变化. 见: 施雅风, 柴窝铺-达坂城地区水资源与环境. 北京: 科学出版社, 1989. 11~ 22
45 王苏民, 冯 敏. 内蒙古岱海湖泊环境变化与东南季风强弱的关系. 中国科学, B 辑, 1991, 21(7): 759~ 768
46 王苏民, 余源盛, 吴瑞金, 等. 岱海 ——湖泊环境与气候变化. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1990
47 李容全, 郑良美, 朱国荣. 内蒙古高原湖泊与环境变迁. 北京: 北京师范大学出版社, 1990
48 王苏民, 吉 磊. 呼伦湖 ——古湖泊学研究. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1995
49 王苏民, 吉 磊, 羊向东, 等. 内蒙古扎赉诺尔湖泊沉积物中的新仙女木事件记录. 科学通报, 1994, 39(4): 348~ 351
50 马 燕, 王苏民. 内蒙岱海近400年来的硅藻植物群及其环境意义. 湖泊科学, 1992, 4(2): 19~ 24
51 李容全, 贾铁飞. 根据内陆湖水面变化恢复古降水的方法. 科学通报, 1992, 37(14): 1 036~ 1 039
52 郑喜玉, 张明刚, 董继和, 等. 内蒙古盐湖, 北京: 科学出版社, 1992
53 孙大鹏. 内蒙古天然碱湖. 海洋湖沼, 1990, 21(1): 44~ 51
54 宋春青, 杨志荣. 内蒙古达来诺尔晚更新世以来的湖面变化及其气候意义. 北京师范大学学报, 1988(增刊): 69~ 76
55 刘清泗, 汪加兴, 李华章. 北方农牧交错带全新世湖泊演变特征. 见赵济. 区域•环境•自然灾害地理研究. 北京: 科学出版社, 1990. 1~ 7
56 张振克, 吴瑞金, 王苏民, 等. 2600年来居延海环境演变的湖泊沉积记录. 湖泊科学, 1998, 10(2): 156~ 161
57 王苏民, 羊向东, 马 燕, 等. 江苏固城湖15ka以来的环境变迁与古季风关系探讨. 中国科学, D 辑, 1996, 26(2): 137~ 141
58 马 燕, 郑长苏. 太湖全新世海相硅藻化石的发现及其意义. 科学通报, 1991, 36(21): 1 641~ 1 643
59 黄成彦. 颐和园昆明湖3500余年沉积物研究. 北京: 海洋出版社, 1996
60 马醒华, 孙知明, 胡守云. 哥德堡事件在湖泊沉积物中的记录. 第四纪研究, 1994(1): 175~ 182
61 李文漪, 刘光秀, 周明明. 湖北西部全新世温暖期植被与气候. 见: 施雅风, 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 1992. 94~ 99
62 张晓阳, 蔡述明, 孙顺才. 全新世以来洞庭湖的演变. 湖泊科学, 1994, 6(1): 13~ 21
63 吴艳宏, 羊向东, 朱海虹. 鄱阳湖湖口地区4500年来孢粉组合及古气候变化. 湖泊科学, 1997, 9(1): 29~ 34
64 余立中, 许羽, 许世远, 等. 太湖沉积物磁化率特征及其环境意义. 湖泊科学, 1995, 7(2): 141~ 150
65 邹尚辉. 人类活动对江汉湖群沼泽化的影响. 湖泊科学, 1992, 4(4): 71~ 76
66 杨达源, 王云飞. 近2000年淮河流域地理环境的变化与洪灾 ——黄河中游的洪灾与洪泽湖的变化. 湖泊科学, 1995, 7(1): 1~ 7
67 沈吉, 王苏民, 羊向东. 湖泊沉积物有机碳稳定同位素测定及其古气候环境意义. 海洋与湖沼, 1996, 27(4): 400~ 404
68 黄志强. 江苏北部沂沭河流域湖泊演变的研究. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1990
69 孙顺才, 伍贻范. 太湖形成演变与现代沉积作用. 中国科学, B 辑, 1987(12): 1322~ 1326
70 蔡述明, 石泉. 古云梦泽研究. 武汉: 湖北教育出版社, 1996
71 朱育新, 王苏民, 吴瑞金. 全新世江汉平原地区长江南移年代的沉积学证据. 科学通报, 1997, 42(18): 1972~ 1974
72 张振克, 王苏民, 沈 吉, 等. 黄河下游南四湖地区黄河河道变迁的湖泊沉积记录. 湖泊科学, 1999(待发表)
73 张佳华, 孔昭宸, 杜乃秋. 北京房山东甘池15000年以来碳屑分析及对火发生可能性的探讨. 植物生态学报, 1997, 21(2): 161~ 168
74 沈 吉, 王苏民, 刘松玉, 等. 固城湖9. 6 kaB. P. 发生的一次海侵记录. 科学通报, 1997, 42(13): 1412~ 1414
75 William Y B C, 刘金陵. 11 000年以来太湖的形成与演变. 古生物学报, 1996, 35(2): 129~ 135
76 宋学良, 李百福, Brenner M, 等. 云南中部石灰岩地区高原湖泊古湖沼学研究. 昆明: 云南科技出版社, 1994
77 Brenner M, Kathleen D, Song X, et al. Paleolimnology of Qilu Hu, Yunnan Province, China. Hydrobiology, 1991, 214: 333~ 340
78 Yu Lizhong, Oldfield, Wu Yushu, et al. Paleoenvironmental implication of magnetic measurements on sediment core from Kunming Basin, Southwest China. Journal of Paleolimnology, 1990, 3: 95~ 111
79 吴瑞金, 项 亮, 钱君龙, 等. 云南滇池近代环境恶化的沉积记录. 见: 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊, 第13号. 北京: 科学出版社, 1995. 1~ 10
80 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 抚仙湖. 北京: 海洋出版社, 1990

81 陶发祥, 洪业汤, 姜洪波. 贵州草海最近 8ka 的气候变化. 科学通报, 1996, 41(16): 1489~ 1492
82 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 兰州地质研究所, 南京地质古生物研究所, 等. 云南断陷湖泊沉积与环境. 北京: 科学出版社, 1989
83 中国科学院中澳第四纪合作研究组. 中国-澳大利亚第四纪学术讨论会论文集. 北京: 科学出版社, 1987
84 罗建育, 陈镇东. 高山湖泊沉积记录的近 4000 年气候与环境变化. 中国科学, D 辑, 1997, 27(4): 366~ 372
85 罗建育, 陈镇东, 万政康. 台湾大鬼湖的古气候研究. 中国科学, D 辑, 1996, 26(5): 474~ 480
86 朱海虹, 张 本. 鄱阳湖 ——水文•生物•沉积•湿地•开发整治. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1997
87 金相灿, 刘鸿亮, 屠清瑛, 等. 中国湖泊富营养化. 北京: 中国环境科学出版社, 1990
88 濮培民, 蔡述明, 朱海虹, 等. 三峡工程与长江中游湖泊洼地环境. 北京: 科学出版社, 1994
89 章 申, 唐以剑. 白洋淀区域水污染控制研究(第一集). 北京: 科学出版社, 1996
90 金相灿. 中国湖泊环境(1~ 3). 北京: 海洋出版社, 1995
91 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998
92 王苏民. 湖泊沉积的信息原理与研究趋势. 见: 张兰生, 中国生存环境历史演变规律研究. 北京: 海洋出版社, 1993. 22~ 31
93 吉 磊. 中国过去 2000 年湖泊沉积记录的高分辨率研究现状与问题. 地球科学进展, 1995, 10(2): 169~ 175
94 万国江, 林文祝, 黄荣贵, 等. 红枫湖沉积物^{137}Cs 垂直剖面的计年特征及侵蚀示踪. 科学通报, 1990, 35(19): 1487~ 1490
95 万国江, 黄荣贵, 王长生, 等. 红枫湖沉积物 210Pbex 垂直剖面的变异. 科学通报, 1990, 35(8): 612~ 615
96 项 亮, 王苏民, 薛 滨. 切尔诺贝利核事故泄漏 137Cs 在苏皖地区湖泊沉积物中的蓄积及时标意义. 海洋与湖沼, 1996, 27(2): 132~ 137
97 余立中, 许 羽, 蔡述明, 等. GIS 技术在洪湖环境演变研究中的应用. 湖泊科学, 1993, 5(4): 350~ 357
98 胡东生. 盐湖地学的研究进展和发展方向. 地球科学进展, 1997, 12(5): 411~ 415
99 吴丰昌, 万国江, 蔡玉容. 沉积物-水界面的生物地球化学作用. 地球科学进展, 1996, 11(2): 191~ 197
100 万国江, 唐德贵, 吴丰昌, 等. 湖泊水-沉积物碳系统研究新进展. . 地质地球化学, 1996, (2): 1~ 4
101 陈振楼, 黄荣贵, 万国江. 红枫湖沉积物-水界面 Fe, Mn 的分布和迁移特征. 科学通报, 1992, 37(21): 1974~ 1977
102 万国江, 陈振楼, 万 曦, 等. 湖泊沉积物-水界面铁-锰循环研究新进展. 地质地球化学, 1996, (2): 5~ 8
103 L. 霍坎松, M. 杨松著. 湖泊沉积学原理. 郑光膺译. 北京: 科学出版社, 1992
104 A. 莱尔曼著. 湖泊的化学地质学和物理学. 王苏民等译. 北京: 地质出版社, 1989
105 王品先编译. 古湖泊学译文集. 北京: 海洋出版社, 1993. 15~ 22
106 于 革. 全球晚第四纪湖泊数据库的研究. 湖泊科学, 1997, 9(3): 193~ 202
107 COHMAP members. Climatic changes of the last 18000years: observations and model simulations. Science, 1988, 241(26): 1043~ 1052
108 Kutzbach J E, Street-Perrott F A. Milankovitch forcing of fluctuations in the level of tropical lakes from 18 to 0 kyrBP. Nature, 1985, 317(12): 130~ 1342
109 安芷生, 波特 S, 吴锡浩, 等. 中国中、东部全新世气候最宜期与东亚夏季风变迁. 科学通报, 1993, 38(14): 1302~ 13053
110 吴锡浩, 安芷生, 王苏民, 等. 中国全新世气候最宜期东亚夏季风时空变迁. 第四纪研究, 1994, (1): 24~ 35
111 刘东生, 安芷生, 陈明扬, 等. 最近 0. 6Ma 南北半球古气候对比初探. 中国科学, D 辑, 1996, 26(2): 97~ 102
112 王苏民, 王富葆. 全新世气候变化的湖泊记录. 见: 施雅风, 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 1992: 146~ 152
113 Sirocko F, Sarnthein M, Erlenkeuser H, et al. Century-scale events in monsoonal climate over the past 24000 years. Nature, 1993, 364(22): 322~ 324
114 Kutzbach J E. Estimates of past climate at Paleolake Chad, North Africa. Quaternary Research, 1980, (14): 210~ 223
115 蒋雪中, 王苏民, 羊向东. 云南鹤庆盆地 30ka 以来的古气候与古环境变迁. 湖泊科学, 1998, 10(2): 10~ 16
116 中国科学院盐湖研究所. 西藏盐湖. 北京: 科学出版社, 1988

(1998-04-16 收稿, 1998-09-10 收修改稿)