

文章编号: 1000-0550(2009) 02-0352-08

云南星云湖沉积记录的近代环境变化: 来自正构脂肪醇的证据¹

张宏亮^{1,2} 李世杰¹ 冯庆来³ 张世涛⁴

(1 湖泊与环境国家重点实验室 中国科学院南京地理与湖泊研究所 南京 210008; 2 中国科学院研究生院 北京 100049;
3 中国地质大学(武汉)地球科学学院 武汉 430074; 4 昆明理工大学 昆明 650093)

摘要 利用气相色谱—质谱联用仪(GC—MS)对星云湖 76 cm 长的沉积岩芯类脂物分子中脂肪醇进行分析,揭示了近 130 a 以来星云湖地区环境演变过程。结果表明:脂肪醇碳数分布 $C_{12} \sim C_{30}$ 呈有规律变化:76~60 cm 深度表现为高碳数与低碳数相对平衡态势,60~38 cm 逐步变为以高碳数为优势,38~12 cm 高碳数较前阶段降低,12~0 cm 低碳数显现明显优势。低碳数与高碳数组分的比值 $R_{L/H}$ 介于 0.13~4.1 之间,在人类活动干扰较小状况下, $R_{L/H}$ 变化与气候的冷暖变化具有显著的对应关系,明显揭示出了相对寒冷(1920 年前)—温暖(20 世纪 30—50 年代)—较寒冷(20 世纪 60—70 年代)温暖(20 世纪 80 年代)的气候变化阶段;20 世纪 90 年代以后,湖泊富营养化快速发展, $R_{L/H}$ 也随之急剧增加。反映出脂肪醇对湖泊环境变化记录的灵敏性以及人类活动的干扰可能对环境自然演化的痕迹予以改变,产生叠加放大或抵消效应,使得现象解释更加复杂。从多种代用指标交合中提炼判识自然与人为因素对环境的影响,是现代沉积物研究中必须注意的问题。

关键词 近代环境变化 类脂物 正构脂肪醇 湖泊沉积 星云湖

第一作者简介 张宏亮 男 1970 生 博士研究生 自然地理学 E-mail phytolith@163.com

通讯作者 李世杰 E-mail shjl@niglas.ac.cn

中图分类号 P593 **文献标识码** A

高原封闭、半封闭湖泊具有汇水面积小、入湖河流短、湖水较深和沉积物具有连续性、敏感性和高分辨率的特点,在全球变化研究中占有重要地位。尤其是在恢复和重塑各种时间尺度(10^2 、 10^3 、 10^4 a 以至更长)的气候和环境演化序列上,具有其他自然历史记录无法替代的优势^[1]。

湖相沉积物中类脂物分子的研究不仅可以解释有机质在沉积、成岩作用过程中的变化,而且还可以反映古环境和古气候的变化^[2~10]。从前人的研究可以看出,类脂物分子在探讨较长时间尺度的古气候古环境变化方面研究较多,而在较高分辨率的近现代气候与环境变化在湖泊沉积中的记录研究较少^[11~13],可能是因为近现代气候与环境变化影响因素复杂,湖泊沉积记录更为复杂的原因所致,此外获得高分辨率的湖泊沉积也具有一定的难度。为了探讨近代区域气候与环境的变化过程及其在湖泊沉积中的高分辨率记录,作者在云南星云湖钻取连续完整的沉积岩芯,在实验室进行高精度的样品分析,获得了星云湖

地区近 130 a 来的气候环境变化记录。以前,对星云湖的形成、沉积物的矿物组成、元素分析、富营养化、资源开发与利用及环境保护方面曾进行了许多研究^[14~22],而在湖泊沉积物的类脂物分子研究方面尚未见报道。本文即是利用湖泊沉积物中的类脂物分子为载体,高分辨率地探讨其近代区域气候与环境变化过程记录的尝试。

1 研究区域概况

星云湖位于云南中部,北距昆明约 80 km,向西距玉溪 20 km(图 1),属于珠江流域南盘江水系的源头湖泊,是滇中湖群重要湖泊之一,为半封闭高原断陷型浅水湖。湖面高程 1 722 m,水域面积 34.7 km²,平均水深 7 m,水容量 1.833 亿 m³。湖水经隔河流入抚仙湖,多年平均泄水量约为 2 400 万 m³。主要入湖河流有东西大河、螺蛳铺河等 14 条季节性河流。流域汇水面积较小,其沉积物可以集中体现流域环境的变化。湖水主要靠降雨补给,循环更新较为缓慢。

¹ 国家科技部重大基础研究前期研究专项(批准号:2004CCA02900)、国家自然科学基金(批准号:40232025)资助。
收稿日期:2008-05-08 收修改稿日期:2008-07-22

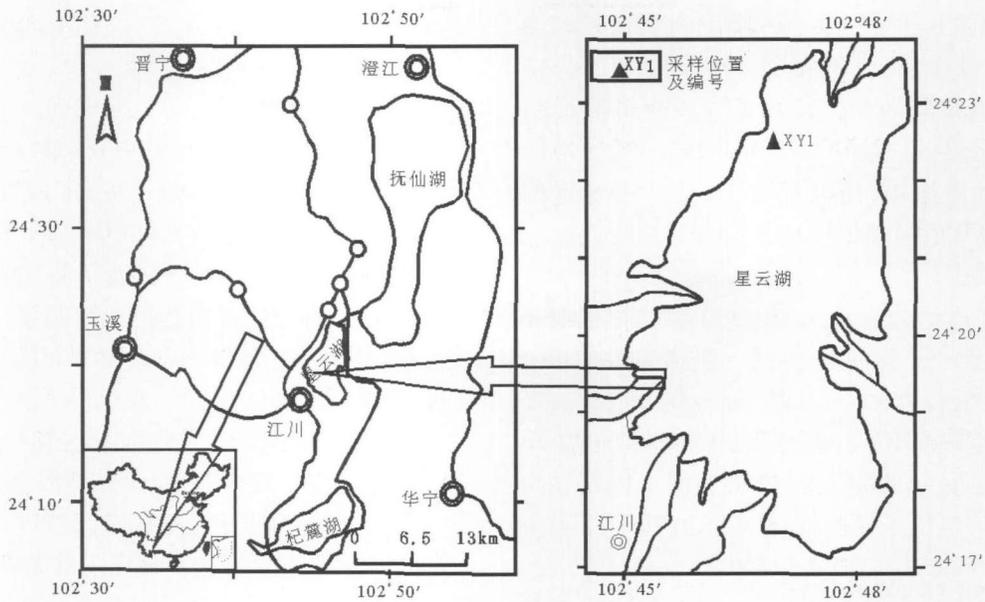


图 1 研究区域(左)及采样位置图(右)

Fig. 1 Location of the study area (on the left) and drilling cores (on the right)

湖区属亚热带季风气候。流域四季寒暑不分, 年平均气温 13.4~16.8℃; 多年年均降雨量 879.1 mm, 年均蒸发量 2000 mm, 干湿季节分明, 夏秋受印度洋西南暖湿气流和北部湾东南暖湿气流控制而多雨; 冬春受印度大陆北部干暖气流和北方南下干冷气流控制而干旱。

2 材料与方法

2.1 样品采集

沉积岩芯采集于云南江川县星云湖湖管站东约 1000m 处 (24°21'27"N, 102°46'28"E) (图 1), 采样点水深 8.2 m, 透明度 38 cm。采样用美国产活塞式水下取芯器垂直湖面取样, 所得沉积岩芯 (XY1) 长约 76 cm, 水土界面清晰, 较好保证了采样质量。现场以 2 cm 为间距连续分割采样后分别置于广口瓶中, 运回冷冻封存。

沉积岩芯自上而下可分为三层, 简述如下:

第一层: 0~10 cm 为深灰、灰黑色流状腐积淤泥层, 大量生物残体呈絮状, 表层是 1~2 cm 厚的未腐烂的藻类堆积层, 腥臭异常。

第二层: 10~28 cm 为深灰、灰黑色富有机质的淤泥层, 偶见夹有粘土层和粉砂层。

第三层: 28~76 cm 为灰黄色灰褐色粘土层, 有机质含量少, 颜色变浅, 底栖生物稀疏, 在 30~34 cm 和 54~56 cm 处见螺蛳。

2.2 年代控制

XY1 岩芯年代模式的建立, 基于张世涛研究星云湖沉积速率时所选岩芯的连续 ^{210}Pb 同位素年代学测试 (在中国科学院南京地理与湖泊研究所测试完成) 资料。计算表明, 星云湖 20 世纪 90 年代的沉积速率高达 1 cm/a, 70 年代末至 90 年代初沉积速率为 0.566 cm/a, 70 年代沉积速率为 0.84 cm/a, 20 年代至 60 年代的沉积速率为 0.67 cm/a, 20 年代以前的沉积速率 0.33 cm/a。上述沉积速率与 1989 年宋学良等在湖心所采泥芯的 ^{210}Pb 测试结果 (明尼苏达大学湖泊研究中心测定) ^[16] 基本一致。依据以上沉积速率对 XY1 钻孔沉积年代进行了推算, 整个岩芯为 1870 年以来的沉积。根据 XY1 岩芯粒度分析结果 ^[21] 在 60~58 cm 深度出现明显的粒径变大的记录, 与史料记载的 1923 年开始的星云湖出水河道疏浚致水位下降 2 m 事件相吻合, 推算结果基本一致, 说明该年代控制是比较可信的。

2.3 类脂物分子的抽提与分离

在中国地质大学 (武汉) 地质过程与矿产资源国家重点实验室采用超声抽提法对样品进行类脂物分子抽提与分离, 具体步骤如下:

样品用冷冻法干燥后粉碎至 80~100 目。称取 5 g, 以锥形瓶用纯化过的三氯甲烷超声抽提, 将抽提液减压旋转蒸发浓缩至 5~10 mL。转移到已平衡细胞瓶中。置于水浴锅上恒温蒸干。干燥称重。

用硅胶色层柱进行组分分离, 分别用正己烷、苯和无水甲醇作为冲洗剂, 得到饱和烃、芳烃和非烃。分别置于已衡重的细胞瓶中, 蒸干, 衡重。将待测样品(非烃)用一定量的三氯甲烷溶解, 取出一部分溶液注入另一空细胞瓶中, 用氮气吹干, 加入一定量的BSTFA, 在 70℃ 恒温箱中反应 90 min, 使酸或醇分别转化为酯和醚。

气相色谱质谱分析采用 HP6890 型气相色谱—HP5973 型质谱—计算机连用仪。色谱条件: HP—5MS 石英毛细管柱 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm), 以 3 °C /min 的速率从 70℃ 升温至 280℃。最终恒温 20 min, 进样口温度为 300℃, 进样量 1 μL, 以氦气为载气。质谱条件: 电子轰击源, 电离能量 70 eV, 电流 200 μA, GC 与 MS 接口温度为 280℃。

3 结果与讨论

利用 GC—MS 从星云湖沉积物样品中检测出丰

富的类脂物种类, 本文主要讨论正构脂肪醇类脂物的分布特征。

星云湖沉积物样品中检测到的一元正脂肪醇碳数分布范围是 C₁₂~C₃₀, 其中 0~60 cm 深度样品碳数分布为 C₁₄~C₃₀, 从 60~76 cm 深度样品除 XY1-33 和 XY1-34 外大都为 C₁₂~C₃₀, 检测范围明显前移。所有样品高碳数部分偶奇优势明显, 以 C₂₆ 为主峰。低碳数部分偶奇优势也比较明显, 大部分以 C₁₆ 为主峰 (图 2)。从整体看碳数分布随深度明显呈阶段性变化 (图 2)。在 76~60 cm 深度表现为高碳数与低碳数相对平衡态势, 向上 60~38 cm 逐步变为以高碳数为优势, 38~12 cm 高碳数较前阶段降低, 而 C₂₀ 较为突出, 且表现出逐渐降低趋势。在 12~0 cm 深度高碳数降低, 低碳数显现明显优势。

据已有研究, 来源于高等植物外表皮蜡的脂肪醇链长为 C₂₂~C₃₀, 且具有明显的偶碳优势^[6, 23]。一

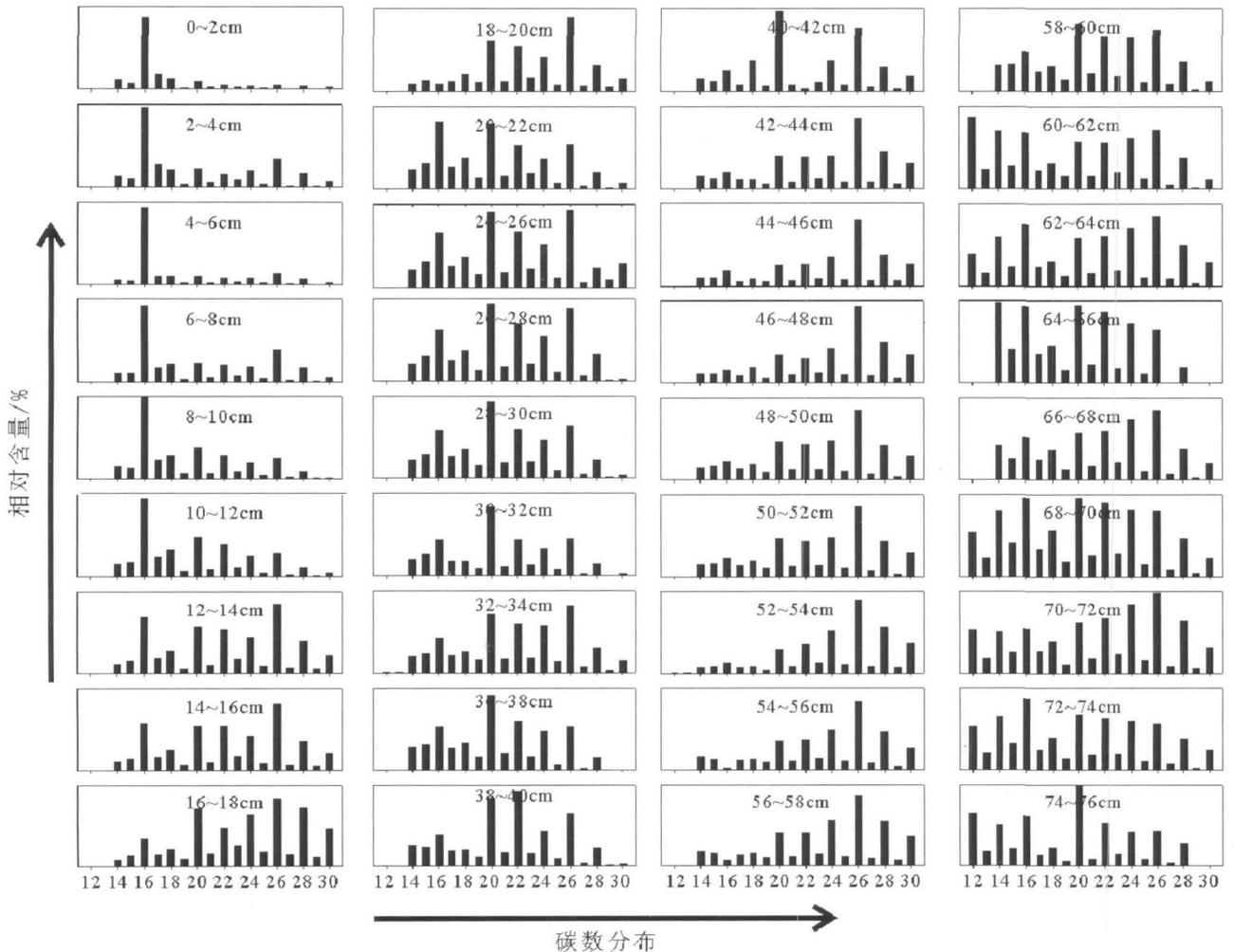


图 2 样品正构脂肪醇碳数分布图

Fig 2 The distribution of fatty *n*-alcohols of the samples

般以 C_{24} 、 C_{26} 为主峰, 或 C_{26} 、 C_{28} 为主峰^[24]。源于水生藻类和细菌的正构脂肪醇的碳数分布范围为 $C_{16} \sim C_{22}$ ^[25, 26]。但醇相对于正构烷烃含量一般都要低。

星云湖沉积物的正构脂肪醇, 以 C_{26} 为主峰, 分布模式具有强烈的偶奇优势, 其高碳数脂肪醇碳优势指数 CPI_h 在 6.12~3.94 之间变化(图 3)。其他学者对植物叶化石、古土壤及中国南方红土研究也发现了来源于高等植物的高 CPI_h 的现象, 如从中新世 Clarkia 组中保存的植物叶化石的 CPI_h 变化于 20~21^[23]; Sikawali 古土壤中提取的正构脂肪醇的 CPI_h 变化于 1.7~76.9^[27]; 中国南方红土中 CPI_h 变化于 5.07~22.2^[28]。具有强烈偶碳优势的高碳数正构脂肪醇系列, 可能来源于高等植物残体。本研究的正构脂肪醇的 CPI_h 最高值也仅 6.12, 尽管可以证明星云湖沉积物中高碳数脂肪醇来源于高等植物, 但与上述古地层中的脂肪醇 CPI_h 值相比却不高, 而与现代土壤剖面中脂肪醇的 CPI_h 接近, 反映出湖泊近现代沉积与古地层中的不同成岩过程对脂肪醇保存的影响。值得指出的是, 星云湖沉积物中的低碳数正构脂肪醇系列也具有明显的偶奇优势, 其来源原

是湖泊中的低等藻类、细菌等微生物。

星云湖沉积物脂肪醇的低碳数系列与高碳数系列的比值或轻组分与重组分的比值 R_{lh} 介于 0.13~4.1 之间, 其变化可明显分出几段: 对应深度 76~60 cm 之间, $R_{lh} > 0.5$, 中间有小幅波动; 深度 60~38 cm 之间, $R_{lh} < 0.5$; 深度 38~20 cm 之间, R_{lh} 在 0.39 到 0.78 间波动; 在 20~12 cm 之间, R_{lh} 值则处于 0.2~0.4 的低值状态。之后 R_{lh} 值快速上升, 很快就 > 0.5 , 且从 12 cm 开始急剧上升, 直至达到最高值 4.1(图 3)。

利用表征低等生物与高等植物输入量的相对变化的低碳数系列与高碳数系列的比值 R_{lh} 来研究高等植物与低等植物的相对含量, 已在红土^[28, 29]、石笋^[30]、泥炭^[12]中得到应用并取得良好的结果, 也印证了 R_{lh} 可以用来表征古气候的变化, 高值通常对应低温时期, 低值对应于较暖时期, 并且在已有的研究中很好的揭示了 YD 事件(新仙女木事件)和 H 事件(哈因里奇事件)甚至夹于 H1 和 YD 之间的 B/A 暖期^[30]。在中国南方红土型古土壤中, 表征低等微生物与高等植物相对变化的类脂物分子参数, 在冰期

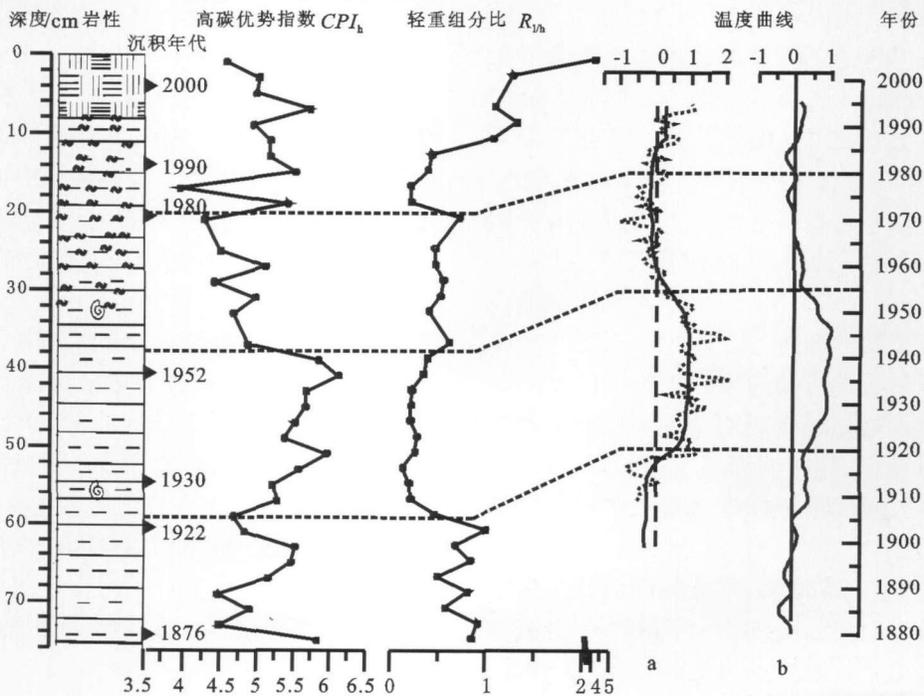


图 3 脂肪醇指标随深度变化及与西南地区百年气温曲线对比

Fig 3 The indices of n-alkohols change with depth and comparison with the temperature curve during the last ca 100a of the Southwest China

$$CPI_h = \frac{\sum \text{even}(C_{20} - C_{28}) + \sum \text{even}(C_{22} - C_{30})}{2\sum \text{odd}(C_{21} - C_{29})} \quad R_{lh} = \frac{\sum(C_{14} - C_{19})}{\sum(C_{20} - C_{30})}$$

a 云南近百年的地面气温变化特征^[31]; b 1880~1996 西南气温距平^[32]

间冰期的气候旋回尺度上表现为冰期与高值、间冰期与低值的对应^[29]。其机理可能是在寒冷时期,高等植物不能繁盛生长,而微生物生物量相对增加,进而引起 $R_{l/n}$ 数值升高,在暖期则高等植物茂盛,引起 $R_{l/n}$ 数值减小。

据此推论,星云湖湖泊沉积中 $R_{l/n}$ 值变化(图 3)应该能指示出其流域的气候变化过程:1920年前的相对寒冷时期(76~60 cm 段);20~50年代的温暖时期(60~38 cm 段);60~70年代的冷期(38~20 cm 段),此段的 $R_{l/n}$ 值较前一阶段明显升高,但比第一阶段要相对低一些,亦即此冷期较第一个冷期要温暖一些;和 80年代后的变暖时期(20 cm 以上段)。星云湖沉积岩芯中 130a 以来 $R_{l/n}$ 值变化的记录与其他学者利用不同方法所得到的云南中部地区近百年来气温曲线^[31-32]相对比,可以看出有很好的相关性。表明 $R_{l/n}$ 作为湖泊沉积中的气候代用指标的灵敏性。但在 1990年代后,湖泊沉积中的 $R_{l/n}$ 值急剧升高,与该地区的气温实际变化有较大的差异。藻类和细菌为低碳数组分的主要来源。湖泊藻类等生长不仅受温度控制,还受湖水营养条件控制,如流域侵蚀带来更多的营养物质也可导致藻类发育^[13], $R_{l/n}$ 数值升高。但是在 1990年代后,该地区森林覆盖率在不断增加,流域侵蚀较以前更受到控制,同时大量水利设施和灌溉工程的建成,几乎拦截了所有上游来水,也使得外源有机物输入相应减少¹;而据研究,星云湖每年入湖的总氮和总磷来源于生活污水的分别占 55% 和 50%,来源于地表径流(包括农村污染和农田污染径流)的分别为 27% 和 26%,生活污水和地表径流约占污染总负荷的 80%,是主要污染源^[33]。因此这种差异可能是人类活动的强烈干扰造成湖泊富营养化而使藻类大量繁殖造成的结果。反映出人类强烈活动与自然气候变化相叠加的复杂情况,也影响了湖泊沉积物中气候代用指标指示意义在特殊情况下的失真现象。

1990年后急剧升高的 $R_{l/n}$ 可能与湖泊的富营养化有关。据张世涛对星云湖的研究,1962年之前星云湖基本处于人为干扰较少的自然状态,湖水清洁,湖泊生产量低,因此湖泊中有机质含量少,正构脂肪醇对气候变化的记录较真实的反映了自然状况。1990年以后大规模的工业污染和城市发展带来的生活污水使湖水水质从 Ⅲ类快速退化为 Ⅳ类,湖泊富营养化迅速发展(玉溪市环保局,1998)。据张文等^[33]研究,星云湖水水质富营养化的过程呈现进程加快和程

度加重两个特征。1982~1990的 8年间,隶属于富营养的隶属度从 0.06 上升到 0.23 上升了 17个百分点;而从 1990~1999年的 9年间,隶属度从 0.23 上升到 0.58 上升了 35个百分点,是 1982年到 1990年的两倍多。营养类型也从 1982年的中营养变为 1995的富营养;此后富营养化程度又有所加重。由于湖泊富营养化导致藻类等低等生物量的增加,从而增大了 $R_{l/n}$,或者说湖泊富营养化对正构脂肪醇的气候意义起了放大效应。这与图 2所示碳数分布在表层 12~0 cm 低碳数表现出的明显优势相对应。星云湖富营养化的过程还表现在表层沉积中 CaO 的含量与方解石从下往上迅速增加^[20],碳酸盐氧同位素、有机碳同位素的强烈负偏等现象中^[21]。星云湖沉积岩芯中正构脂肪醇高碳优势指数与轻重组分随深度的变化趋势很好反映了星云湖流域近 130 a 的环境变化历史,1980年以前湖泊发展主要受自然因素的控制,之后人类活动对湖泊环境的影响逐渐加强,1990年后人类活动对湖泊环境的影响力超过了自然变化的影响力。

谢树成等利用泥炭为载体对欧洲小冰期的研究是近现代沉积中高分辨率研究的成功例子^[11-12]。本研究以较高分辨率(10 a)反映了星云湖地区的气候与环境变化,且真实地记录到近百多年的气候波动,也证明了脂肪醇 $R_{l/n}$ 对气候变化的灵敏性。正构脂肪醇同系物主要来源于生态系统中低等生物和高等植物,并且可以用高碳数系列和低碳数系列对两种输入进行粗略区分,为我们区分湖泊沉积物的内外源提供了依据。

对一个地方古气候的重建,需要多个环境代用指标,才能克服指标意义的多解性和提高判识的准确性。对于古气候研究,例如 YD 事件、B/A 暖期等可以忽略人类活动的影响,而现代沉积物中,人类活动的干扰,如污染及富营养化等可能对环境自然演化的痕迹予以改变,产生放大或抵消效应,从而使得现象解释更加复杂。从多种代用指标交合中提炼判识自然与人为因素对环境的影响,是近现代沉积物研究中必须注意的问题。

4 结论

综合以上的结果和讨论,可以得出以下结论:

¹ 张世涛. 近现代星云湖的沉积作用与环境变化研究. 武汉: 中国地质大学博士学位论文, 2001

星云湖沉积岩芯中正构脂肪醇以较高分辨率 (10 a)反映了星云湖地区 130a来的气候与环境变化过程,且记录到多次与实际气候波动相一致的气候变化。 $R_{1/n}$ 值的变化揭示出了 1920年前的相对寒冷时期 (76~60 cm段); 20世纪 20—50年代的温暖时期 (60~38 cm段); 20世纪 60—70年代的冷期 (38~20 cm段)和 80年代后的变暖时期 (20 cm以上段)。证明了脂肪醇对气候变化的灵敏性。同时也明确记录了该湖的富营养化过程。

沉积物中脂肪醇的高碳优势指数和轻组分与重组分的比值 $R_{1/n}$ 随深度的变化趋势很好地反映了星云湖流域近 130 a的环境变化历史,1980年以前湖泊发展主要受自然因素的控制,之后人类活动对湖泊环境的影响逐渐加强,1990年后人类活动对湖泊环境的影响力超过了自然变化的影响力。

现代沉积物中,人类活动的干扰,污染及富营养化等可能对环境自然演化的痕迹予以改变,产生放大或抵消效应,从而使得现象解释更加复杂。从多种代用指标交合中提炼判识自然与人为因素对环境的影响对近代沉积记录尤为重要。

致谢 云南地质科学研究所宋学良、张子雄教授,昆明理工大学叶许春、李春卉等同学在野外工作中给予了极大帮助;中国地质大学国家地质过程与矿产资源重点实验室谢树成教授,黄咸雨博士在实验中给予的热情指导,一并予以衷心感谢。

参考文献 (References)

- 万国江. 环境质量的地球化学原理 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1988 [Wan Guojiang. Geochemical Principles of Environmental Quality [M]. Beijing: China Environment Science Press, 1998]
- Meyers P A, Ishiwatari R. Lacustrine organic geochemistry: an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments [J]. *Organic Geochemistry*, 1993, 20: 867-900
- Crawell P A, Eglinton G, Robinson N. Lipids of aquatic organisms as potential contributors to lacustrine sediments [J]. *Organic Geochemistry*, 1987, 11: 513-527
- Meyers P A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes [J]. *Organic Geochemistry*, 2003, 30(34): 261-289
- Crawell P A. Chain-length distribution of *n*-alkanes from lake sediments in relation to post-glacial environmental change [J]. *Freshwater Biology*, 1973, 3: 259-265
- Rieley G, Collier R J, Jones DM, et al. The biogeochemistry of Ellesmere Lake, UK: source correlation of leaf wax inputs to the sedimentary lipid record [J]. *Organic Geochemistry*, 1991, 17: 901-912
- Huang Y, Street-Perrott F A, Perrott F A, et al. Glaciation-interglacial

environmental changes inferred from the molecular and compound-specific ^{13}C analyses of sediments from Sacred Lake [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1999, 63: 1383-1404

- Nott C J, Xie S, Avsejs L A, et al. *n*-alkane distributions in ombrotrophic mires as indicators of vegetation change related to climatic variation [J]. *Organic Geochemistry*, 2000, 31: 231-235
- 张干, 盛国英, 傅家谟, 等. 固城湖 GS-1 孔 11.87-12.28 m 古环境变更线的分子有机地球化学证据 [J]. *科学通报*, 1999, 44(7): 775-779 [Zhang Gan, Sheng Guoying, Fu Jianmo, et al. Molecular organic geochemical evidence for paleoenvironmental changes at 11.87-12.28 m in GS-1 sedimentary core Gucheng Lake East China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(5): 1407-1411]
- 盛国英, 蔡克勤, 阳学贤, 等. 合同察汗淖(碱)湖沉积物中的长链不饱和酮及其古气候意义 [J]. *科学通报*, 1998, 43(10): 1090-1093 [Sheng Guoying, Cai Keqin, Yang Xuexian, et al. Long-chain alkenones in Hotong Qagan Nur Lake sediments and its paleoclimatic implications [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(10): 1090-1093]
- Xie S, Nott C J, Avsejs L A, et al. Palaeoclimate records in compound-specific δD values of a lipid biomarker in ombrotrophic peat [J]. *Organic Chemistry*, 2000, 31: 1053-1057
- 谢树成, 易轶, 梁斌, 等. 泥炭分子化石单体碳氢同位素的古气候意义 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2003, 22(1): 8-13 [Xie Shucheng, Yi Yi, Liang Bin, et al. Paleoclimate implication from compound specific $\delta^{13}\text{C}$ and δD of molecular fossils in peat deposits [J]. *Bulletin of Mineralogy-Petrology and Geochemistry*, 2003, 22(1): 8-13]
- 姚书春, 李世杰. 巢湖富营养化过程的沉积记录 [J]. *沉积学报*, 2004, 22(2): 343-347 [Yao Shuchun, Li Shijie. Sedimentary records of eutrophication for the last 100 years in Chaohu Lake [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(2): 343-347]
- 赵永胜, 赵霞飞. 云南星云湖中蓝铁矿结核的发现及环境意义 [J]. *沉积学报*, 1991, 9(3): 118-122 [Zhao Yongsheng, Zhao Xiafei. The discovery and environmental significance of vivianite nodules in Xingyun Lake, Yunnan [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1991, 9(3): 118-122]
- 赵永胜. 云南星云湖断陷湖盆中粘土矿物组合特征与沉积环境关系的初步探讨 [J]. *海洋与湖泊*, 1993, 24(5): 447-455 [Zhao Yongsheng. Clay mineral and depositional environment in fault basin of Xingyun Lake [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1993, 24(5): 447-455]
- 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 [M]. 昆明: 云南科学技术出版社, 1994, 1-114 [Song Xueliang, Li Baifu, Brenner M, et al. Paleolimnological Studies on the Limestone District in Central Yunnan China [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1994, 1-114]
- 刘俊, 陈红. 星云湖水生生态系统变迁及富营养化的变化分析 [J]. *云南环境科学*, 2000, 19(2): 42-44 [Liu Jun, Chen Hong. Analysis on change of aquatic ecosystem and eutrophication in Xingyun Lake [J]. *Yunnan Environmental Science*, 2000, 19(2): 42-44]

- 18 Sakamoto M, Sugiyama M, Maruo M, *et al*. Distribution and dynamics of nitrogen and phosphorus in the Fuxian and Xingyun Lake System in the Yunnan Plateau, China [J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2002, 14(2): 1-9
- 19 Okubo K, Kumagai M, Sakamoto M, *et al*. On the micro-ecosystem in the connected lakes—study on the Yunnan Plateau Lakes: Shallow Xingyun Lake and Deep Fuxian Lake [J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2002, 14(2): 10-22
- 20 张世涛, 宋学良, 张子雄, 等. 星云湖表层沉积物矿物组成及其环境意义 [J]. *地球科学进展*, 2003, 18(6): 928-932 [Zhang Shitao, Song Xueliang, Zhang Zixiong, *et al*. The changing of mineral composition and environmental significance in surface sediments of Xingyun Lake [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2003, 18(6): 928-932]
- 21 张立原, 张宏亮, 张世涛, 等. 滇中星云湖地区 200 年来的环境演化 [J]. *地质科技情报*, 2006, 25(3): 8-12 [Zhang Liyuan, Zhang Hongliang, Zhang Shitao, *et al*. Environmental evolution in the past 200 years of Xingyun Lake, Central Yunnan Province, Southwest China [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2006, 25(3): 8-12]
- 22 莫美仙, 张世涛, 叶许春, 等. 云南高原湖泊滇池和星云湖 pH 值特征及其影响因素分析 [J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(增刊): 269-273 [Mo Meixian, Zhang Shitao, Ye Xuchun, *et al*. pH Characters and influencing factors in Dianchi and Xingyun Lakes of Yunnan Plateau [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26: 269-273]
- 23 Huang Y., Lockheart M J, Collister J W, *et al*. Molecular and isotopic biogeochemistry of the Miocene Clarkia Formation: hydrocarbons and alcohols [J]. *Organic Geochemistry*, 1995, 23: 785-801
- 24 Tuiloch A P. Chemistry of waxes of higher plants [C] // Chemistry and Biochemistry of Natural Waxes. Klatukudy P E, ed. Elsevier Amsterdam, 1976, 236-278
- 25 Robinson N., Cranwell P A., Finlay B J. *et al*. Lipids of aquatic organism as potential contributor to lacustrine sediments [J]. *Organic Geochemistry*, 1984, 6: 143-152
- 26 Volkman JK, Barrett SM, Blackburn S I. Eustigmatophyte microalgae are potential sources of C_{20} sterol, $n-C_{23}$ - $n-C_{28}$, n -alkanoic acids and C_{28} - C_{32} n -alkyl diols in freshwater environments [J]. *Organic Geochemistry*, 1999, 30: 307-318
- 27 Freeman K H, Colarusso L A. Molecular and isotopic records of C_4 grassland expansion in the late Miocene [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2001, 65: 1439-1454
- 28 Xie S, Lai X, Yi Y, *et al*. Molecular fossils in a Pleistocene river terrace in southern China related to paleoclimate variation [J]. *Organic Geochemistry*, 2003, 34(6): 789-797
- 29 谢树成, 易轶, 刘育燕, 等. 中国南方更新世网纹红土对全球气候变化的响应: 分子化石记录 [J]. *中国科学: D 辑*, 2003, 33(5): 411-417 [Xie Shucheng, Yi Yijun, Liu Yuyan, *et al*. The Pleistocene vernacular red earth in South China signaling the global climatic change: The molecular fossil record [J]. *Science in China Series D*, 2003, 46(11): 1113-1120]
- 30 Xie S, Yi Y, Huang J, *et al*. Lipid distribution in a subtropical southern China stagnite: a record of soil ecosystem response to paleoclimate change [J]. *Quaternary Research*, 2003, 60: 340-347
- 31 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢, 等. 近百年中国年气温序列的建立 [J]. *应用气象学报*, 1998, 9(4): 392-401 [Wang Shaowu, Ye Jinlin, Gong Dao yi, *et al*. Construction of mean annual temperature series for the last one hundred years in China [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1998, 9(4): 392-401]
- 32 尤卫红, 傅抱璞, 林振山. 云南近百年气温变化与 8 月低温冷害天气 [J]. *高原气象*, 1997, 16(1): 63-72 [You Weihong, Fu Baopu, Lin Zhen Shan. Climatic characteristics analyses of surface air temperature variations for Yunnan Province during the last one hundred years and chilling damage weather in August [J]. *Plateau Meteorology*, 1997, 16(1): 63-72]
- 33 张文, 吕伟, 李海涛. 星云湖水水质富营养化的模糊决策分析 [J]. *玉溪师范学院学报*, 2002, 18(5): 95-99 [Zhang Wen, Lv Weijun, Li Haitao. Fuzzy decision-making analysis of eutrophication of water quality of Xingyun Lake [J]. *Journal of Yuxi Teachers College*, 2002, 18(5): 95-99]

Environmental Evolution Records of Biomarkers from Lacustrine Deposits of Xingyun Lake Yunnan

ZHANG Hong-liang^{1,2} LI Shi-jie¹ FENG Qing-lai³ ZHANG Shi-tao⁴

(1 State Key Laboratory of Lake Science and Environment Nanjing Institute of Geography and Limnology Chinese Academy of Sciences Nanjing 210008

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences Beijing 100049 3 Faculty of Earth Science, China University of Geosciences Wuhan 430074

4 Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093)

Abstract A 76 cm core was drilled from Xingyun Lake in the center of Yunnan Province, southwest China to get the environment change record. Using GC-MS analysis, a series of lipids including n -alkanes, n -alkanoic acids and n -alcohols have been identified. This paper focuses on n -alcohols in this core. Result shows that the distinct n -alco-

hols distributions in different depth. The chromatographic peak of most of the samples are identified according to carbon number (arrangement) in double peak, in which the former and back main peak carbons are C_{16} and nC_{26} , respectively; the even-odd carbon predominance both in the lower and higher carbon number n -alcohols. The carbon number components of lower and higher are in the relative balance at 76~ 60 cm, dominated by higher at 60~ 38 cm, the higher present in less abundance at 38~ 12 cm and the lower show greater abundance at 12~ 0 cm depth. The rate of the higher carbonate components to the lower ($R_{1/h}$) are between 0.13~ 4.1, which have marked corresponding relation to the temperature curve under the less human effect. Four climate stages can be divided according to the records since about 130 a i.e. cool period before 1920, warm period between 1920~ 1956 with the warmest period in 1940s, cold period between 1957~ 1970s and warm period 1980s. Since 1993 $R_{1/h}$ increase may record the eutrophic history of the lake. The carbon preference index (CPI) reveals the organic origin of the lake has some alternations. More attention must be paid to that the high effected by the eutrophic which may lead the the high $R_{1/h}$. The lipids are sensitive to the environment evolution. However, further and more detailed work should be done for better understanding the relationship between environment evolution and Lipid records.

Key words recent environmental evolution, lipids, n -alcohols, lacustrine deposits, Xingyun Lake