

湛江湖光岩玛珉湖中长链烷基二醇类化合物的检出及可能的环境意义

王 倩^{1,2}, 周浩达², 胡建芳^{1*}, 彭平安¹

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所 有机地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640; 2. 长江大学 地球化学系, 湖北 荆州 434023)

摘 要: 通过对湛江湖光岩玛珉湖现代环境介质(水体和表层沉积物)中的长链烷基二醇类化合物的定性和定量分析, 检测出了一系列的长链烷基二醇化合物, 包括 1,13-C₂₈、1,13-C₃₀、1,14-C₃₀、1,15-C₃₀ 和 1,15-C₃₂。表层水体中 1,14-C₃₀ 相对含量最高, 中层水体中 1,15-C₃₀ 相对含量最高, 而底层水体中 1,13-C₃₀ 相对含量最高。推测 1,14-C₃₀ 主要来源于硅藻, 但也不排除异鞭藻来源。1,13-C₂₈ 可能同时具有黄绿藻和硅藻来源。1,13-C₃₀、1,15-C₃₀ 和 1,15-C₃₂ 长链化合物主要来源于黄绿藻(Eustigmatophytes), 但也存在其他藻类来源。表层沉积物中长链烷基二醇化合物的分布与中层水体颗粒物各二醇类化合物的分布相似, 表明湖光岩玛珉湖沉积物中长链烷基二醇类化合物主要来源于浮游藻类。湖泊水体颗粒物中二醇指数(DIX)同实测的湖泊水体温度具有很强的线性相关性, 而表层沉积物中 DIX 一致, 表明湖光岩玛珉湖中二醇指数能够用来作为水体温度的替代性指标。此研究结果为长链烷基二醇类化合物在湖泊古环境重建应用中提供了现代过程证据。

关键词: 湖光岩; 玛珉湖; 长链烷基二醇

中图分类号: P593 文献标识码: A 文章编号: 0379-1726(2013)02-0188-08

Identification and potential environmental implication of long-chain alkyl diols in Huguangyan maar Lake

WANG Qian^{1,2}, ZHOU Hao-da², HU Jian-fang^{1*} and PENG Ping-an¹

1. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;
2. Geochemistry Department of Yangtze University, Jingzhou 434023, China

Abstract: Long-chain alkyl diols, including 1,13-C₂₈, 1,13-C₃₀, 1,14-C₃₀, 1,15-C₃₀ and 1,15-C₃₂ diol, are identified in suspended particulate matter (SPM) at different water depths and surface sediments from the Huguangyan maar Lake. The highest percentage of diol is 1,14-C₃₀ in the SPM of surface water. The highest percentage of diol is 1,15-C₃₀ in the SPM of mid-depth water, and the highest percentage of diol is 1,13-C₃₀ in the SPM of bottom water. It can be deduced that 1,14-C₃₀ diol is mainly derived from diatom, and some possibly derived from *Dictyochophyceae*, 1,13-C₂₈ diol from Eustigmatophytes and diatom, and 1,13-C₃₀, 1,15-C₃₀ and 1,15-C₃₂ diols from Eustigmatophytes in the Huguangyan maar Lake. The distribution of diols in the surface sediments is similar to that in the SPM of mid-depth water, suggesting that the long-chain alkyl diols in sediments are derived from phytoplankton algae in the Huguangyan maar Lake. The significant positive relationship between measured water

收稿日期(Received): 2012-05-29; 改回日期(Revised): 2012-09-25; 接受日期(Accepted): 2012-11-28

基金项目: 国家自然科学基金(40873064, 40930106); 教育部留学归国人员择优资助项目

作者简介: 王倩(1987-), 女, 硕士研究生, 环境地球化学专业。E-mail: wq19871116@126.com

* 通讯作者(Corresponding author): HU Jian-fang, E-mail: hujf@gig.ac.cn, Tel: +86-20-85290163

Geochimica | Vol. 42 | No. 2 | pp. 188-195 | Mar., 2013

temperature and Diol Isomer Index (DIX) of the SPM in water, and the consistency of DIX in the surface sediments suggest that DIX can be used as a palaeotemperature proxy in the Huguangyan maar Lake.

Key words: Huguangyan; Maar lake; long-chain alkyl diols

0 引 言

长链烷基二醇类化合物最初是在全新世/更新世海洋沉积物中被检出的^[1]。随后, 在大量的新近纪中新世到全新世的海洋和湖泊沉积物中都检测出了这类化合物^[2-7]。国际上也有少量文献报道这类化合物在淡水湖泊沉积物中的检出, 如, Xu *et al.*在委内瑞拉的 Valencia 湖泊沉积物中检测到了一系列的长链烷基二醇化合物^[8], Shimokawara *et al.*和 zhang *et al.*都分别在不同地区的淡水湖泊中检测出了长链烷基二醇化合物^[9-10]。

关于这类化合物的生物来源目前还没有定论。国际学者在一些不同藻类生物体中检测出了这类化合物, 包括黄绿藻 Eustigmatophytes 中的 *Nannochloropsis*^[11-14] 和淡水黄绿藻 *Vischeria punctata*, *Vischeria Helvetica* 和 *Eustimatos vischeri*^[15], 硅藻 *Proboscia*^[16-17] 以及金藻中的异鞭藻 (*Dictyochophyceae*)^[18]。早期普遍认为 1,14-长链烷基二醇化合物是硅藻 *Proboscia* 的特征生物标志化合物^[16-17], 而 1,15-长链烷基二醇化合物主要来源于黄绿藻^[11,12,14,17]。但 Rampen *et al.*新近在培养的异鞭藻 *Apedinella radians* 中检测到了 1,14-长链烷基二醇化合物^[18]。因此关于长链烷基二醇类化合物的生物来

源还需要更多的工作去验证。

本工作在湛江湖光岩玛珉湖水体和沉积物中首次检测出了一系列的长链烷基二醇类化合物。笔者认为这类化合物主要来源于湖光岩玛珉湖中的浮游硅藻, 其相对含量的变化能够反映其生长环境温度的变化。此研究结果为长链烷基二醇类化合物在湖泊古环境重建应用中提供了现代过程证据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

湖光岩玛珉湖(21°9'N, 110°17'E)位于广东省湛江市西南约 14 km (图 1a), 是雷琼火山区中一个典型的玛珉湖, 湖水面积约 2.3 km², 最大水深 20 m 左右。该地区位于南亚热带——热带北部的气候过渡区, 受东南夏季风和西南夏季风的共同影响, 干湿分明。每年的 4~9 月份为雨季, 其降雨量可占全年的 80%以上。该区年平均温度为 22~23 °C, 年平均降水量约 1600 mm。国内外科学家在湛江湖光岩玛珉湖的古气候、古环境研究方面已经作了许多有意义的工作^[19-25], 通过这些研究发现, 其沉积记录中生物硅含量较高, 反映出具有较高的硅藻生产力^[26]。但还未见有长链烷基二醇类化合物及相关的环

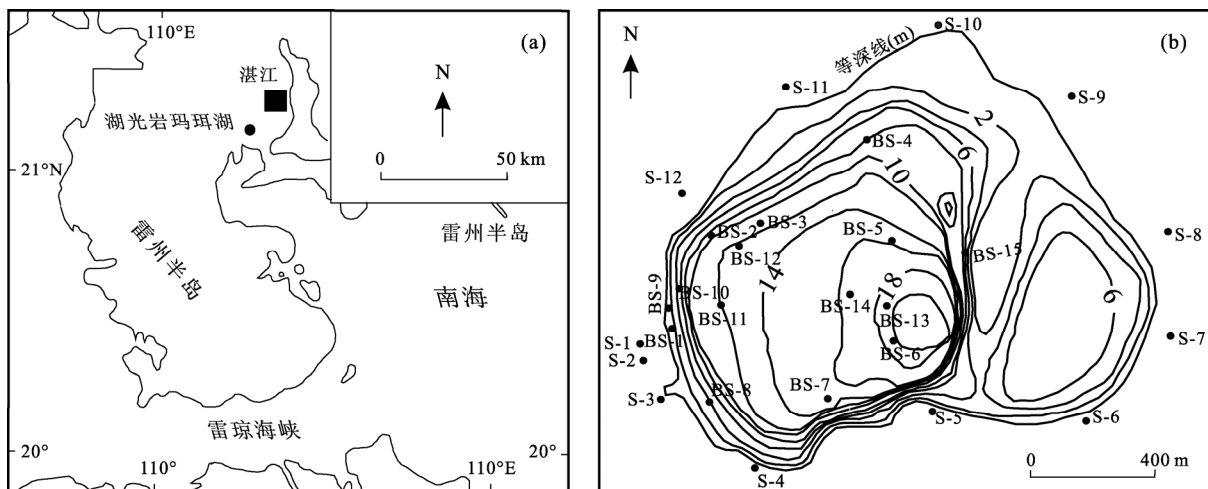


图 1 湖光岩的地理位置(a)和研究样品的分布^[23] (b)

Fig.1 Location map of Huguangyan maar Lake (a) and the sampling sites^[23] (b)

WANG Qian *et al.*: Long-chain alkyl diols in Huguangyan maar Lake

研究,检测出了一系列的长链烷基二醇类化合物。

水体样品采集于2010年的春季(3月份)和2011年的东季(11月份)。按湖水深度1 m、6 m和11 m分别采集20 L水样,现场用0.7 μm GF/F滤膜进行过滤,得到颗粒物后立即冷冻保存,直到进行实验室分析。表层沉积物(BS1~BS15)分别采于2010年3月和11月。用自制的底泥抓斗器采取湖底上层0~3 cm的沉积物,后保存在-20 °C环境中,直到进行分析。为了对比研究,同时在湖泊四周采集了12个(S1~S12)表层土壤样品(图1b)。

1.2 长链烷基二醇类化合物的定性定量分析

所有的GF/F膜颗粒物、表层沉积物和土壤样品都进行冷冻干燥处理。干燥后的土壤和表层沉积物研磨至100目后备用。称取适量的研磨好的表层沉积物、土壤和GF/F膜颗粒物,加二氯甲烷/甲醇混合溶液(体积比2:1)和适量定量内标C₂₄D₅₀烷烃、C₁₉-OH脂肪醇和C₁₆D₃₁O₂H脂肪酸进行索氏抽提48 h,得到总抽提物。总抽提物浓缩后加5% KOH的CH₃OH溶液置于60 °C条件下水解反应8 h。水解反应后首先以正己烷/二氯甲烷(体积比9:1)溶液萃取得到中性组分,剩余溶液加HCl调pH < 2后用正己烷/二氯甲烷(体积比9:1)溶液萃取得到酸性组分。萃取得到的中性组分通过氧化铝/硅胶柱进一步分离出烷烃和醇类组分。本项研究仅讨论醇类组分。得到的醇类组分加BSTFA衍生化试剂反应24 h后待仪器分析^[27]。

衍生化后的醇类组分进行色谱及色谱-质谱分析。分析仪器为Agilent 6890气相色谱仪和Thermo TRACE GC ULTRA-DSQ 色谱-质谱联用仪。色谱条件:DB-5 MS毛细管色谱柱,柱长60 m,内径0.25 mm,涂层0.25 μm。色谱进样口温度为290 °C,检测器温度为290 °C。升温程序:初始温度为80 °C,保留2 min,以3 °C/min的升温速率升至300 °C,保留30 min。氮气为载气,流速1.2 mL/min。质谱条件:电子倍增器电压为490 V,扫描数范围m/z 50~70,离子源为EI源。离子源温度为290 °C,电子能量70 eV。接口温度250 °C。

2 结果

2.1 水体颗粒物中长链烷基二醇化合物

春季表、中、底层各层水体颗粒物含量分别为

1.69 μg/L、1.71 μg/L和2.28 μg/L,而冬季各层水体颗粒物含量分别为1.24 μg/L、1.53 μg/L和1.41 μg/L。春季和冬季水体样品中都检测出了一系列长链烷基二醇化合物,包括有:1,13-C₂₈、1,13-C₃₀、1,14-C₃₀、1,15-C₃₀和1,15-C₃₂(m/z 103质量色谱图,见图2),化合物的鉴定是依据其质谱峰特征与文献对比进行的,各化合物的质谱结构如图3所示。这些化合物在水体中的分布规律为:1,13-C₃₀含量在底层水体中最高,1,13-C₂₈、1,14-C₃₀、1,15-C₃₀和1,15-C₃₂含量从表层向底层都统一为表层最高,中层最低,底层次高(图4)。

早期普遍认为1,14-长链烷基二醇化合物是硅藻*Proboscia*的特征生物标志化合物^[16-17]。但Rampen *et al.*新近在培养的异鞭藻*Apedinella radians*中检测到了1,14-长链烷基二醇化合物^[18]。对于湖光岩玛珉湖,硅藻是其主要的初级生产者,推测1,14-C₃₀主要来源于硅藻,但也不排除异鞭藻来源。研究认为,1,13-C₂₈、1,13-C₃₀、1,15-C₃₀和1,15-C₃₂长链化合物主要来源于黄绿藻(Eustigmatophytes)^[11-15],但一些硅藻也可以合成C₂₈二醇^[16],因此,认为湖光岩玛珉湖中1,13-C₂₈可能同时具有黄绿藻和硅藻来源。黄绿藻(Eustigmatophytes)中检出的C₃₂同系物的含量都比C₃₀高^[11],但本研究的水体颗粒物中检出的此类化合物都是C₃₀同系物占绝对优势,C₃₂同系物含量低,C₃₁同系物缺乏。这种分布差异可能反映湖光岩玛珉湖水体中长链烷基二醇类化合物还有其他藻类来源^[12],如硅藻等。

水体样品中各类长链烷基二醇化合物的相对含量表现出不同的分布特征(图5):表层水体中1,14-C₃₀相对含量最高,中层水体中1,15-C₃₀相对含量最高,而底层水体中1,13-C₃₀相对含量最高。这些化合物在不同深度水体中相对含量的不同分布特征,一方面可能与藻类种群变化和温度不同所导致的化合物在藻类细胞膜中的相对组成发生变化有关,另一方面也可能与颗粒物在沉降过程中不同化合物的降解存在差异有关。本文倾向于前一种可能性。Rampen *et al.*^[28]新提出了一个长链烷基二醇化合物指数(DIX, $DIX = \frac{1,15-C_{30}}{1,13-C_{28} + 1,13-C_{30} + 1,15-C_{30}}$),发现二醇指数同海洋水体表层温度(SST)具有很好的线性相关性。本研究中,2个不同季节采集的表层、中层和底层水体的DIX指数与采样时实测水体温度

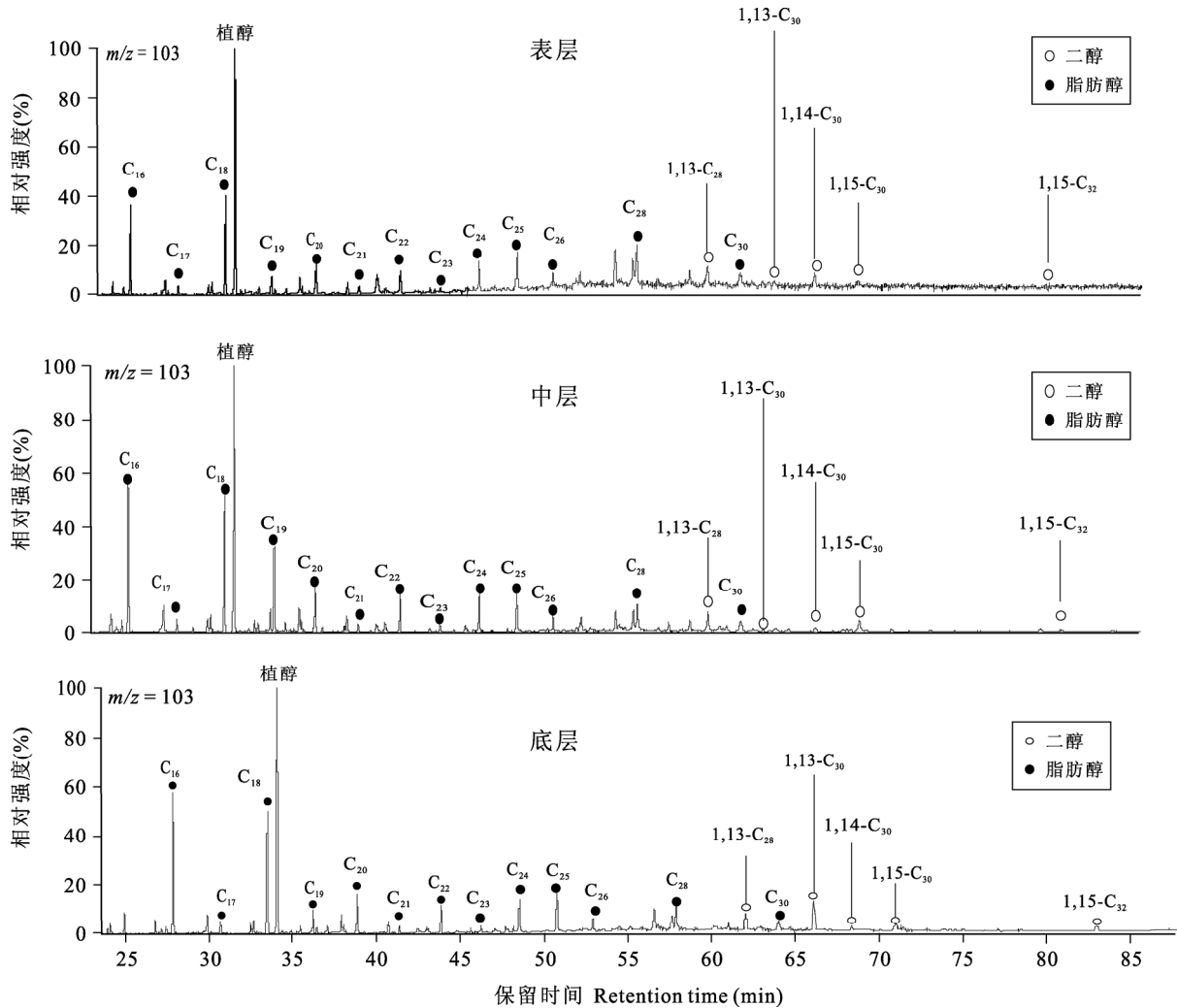
图 2 不同深度水体颗粒物质量色谱图(m/z 103)

Fig.2 Mass chromatograms of aliphatic alcohols in the suspended particulate matter at different water depths (m/z 103)

的相关性强($R^2 = 0.94$, 图 6), 表明长链烷基二醇类化合物可以作为水体温度的替代性指标, 这为这类化合物的环境应用提供了现代过程的直接证据。

2.2 表层沉积物和土壤中长链烷基二醇化合物

对湖泊四周采集的 12 个表层土壤样品进行了长链烷基二醇化合物的分析检测, 结果显示, 所有土壤样品中没有检测出长链烷基二醇类化合物, 表明该类化合物只能来源于湖泊内源。

表层沉积物中检测出了 1,13- C_{28} 、1,13- C_{30} 、1,14- C_{30} 、1,15- C_{30} 和 1,15- C_{32} 长链烷基二醇化合物, 其中 1,15- C_{30} 的相对含量最高, 可占总长链烷基二醇化合物的 55%(图 5), 与中层水体颗粒物各二醇类化合物的分布相似, 表明湖光岩玛珉湖沉积物中长链烷基二醇类化合物主要来源于浮游藻类。计算表

层沉积物中二醇指数(DIX), 发现所有样品 DIX 为 0.70 ± 0.02 。在湖光岩玛珉湖中, 本研究所采集的表层沉积物代表了相同的环境温度, 二醇指数的一致性也表明了其环境温度的一致性, 但此温度是几年的平均温度。因此, 在湖光岩玛珉湖沉积物中长链烷基二醇指数能够用来作为水体温度的替代性指标。

3 结 论

通过对湖光岩玛珉湖中不同季节水体和表层沉积物中长链烷基二醇类化合物的定性、定量研究, 检测出了一系列的长链烷基二醇类化合物, 其中的 1,14- C_{30} 主要来源于硅藻, 但也不排除异鞭藻来源。1,13- C_{28} 可能同时具有黄绿藻和硅藻来源。1,13- C_{30} 、

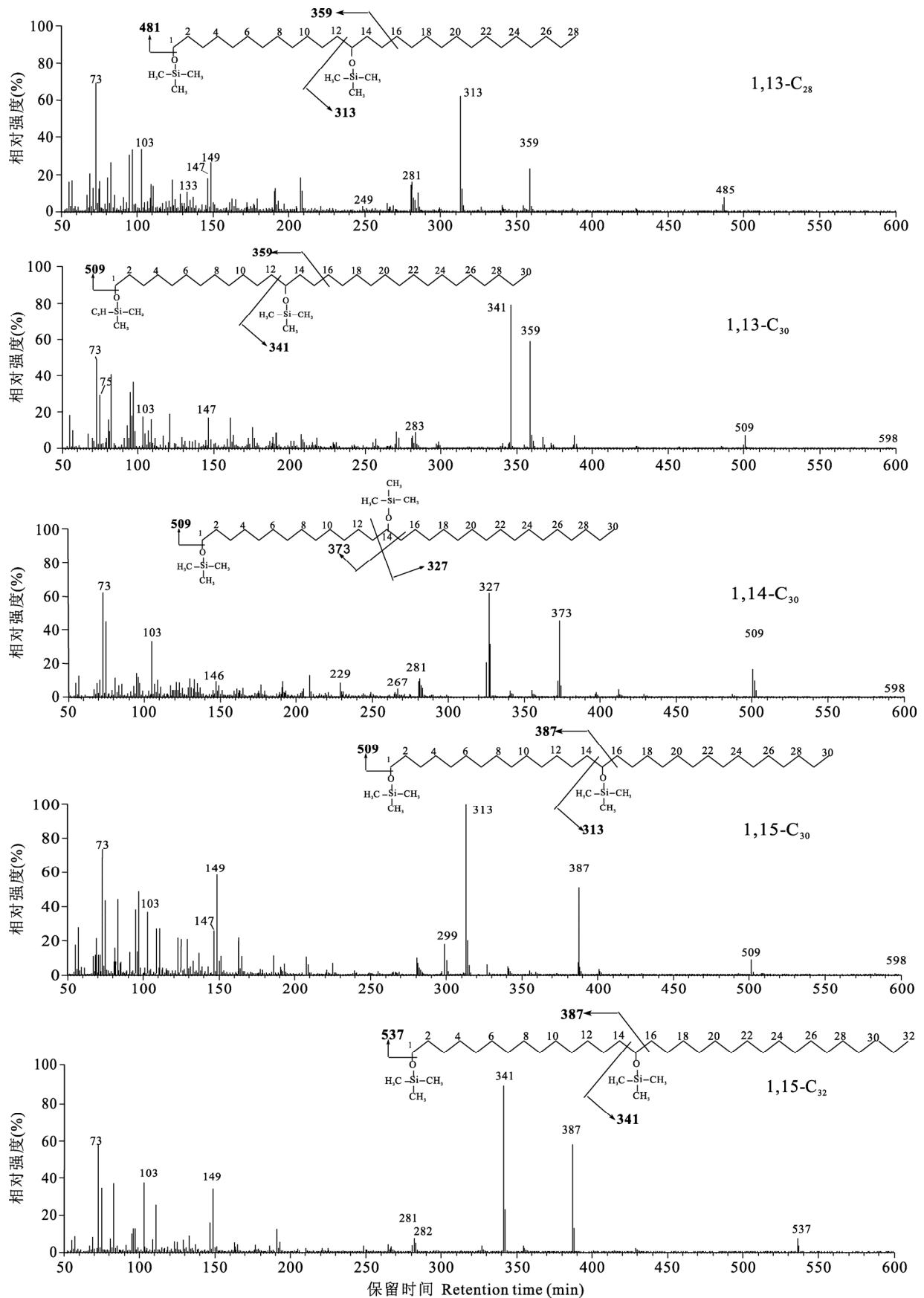


图3 硅醚烷化的长链烷基二醇化合物质谱及结构图

Fig.3 Mass spectra and structures of silylated long-chain aliphatic diols

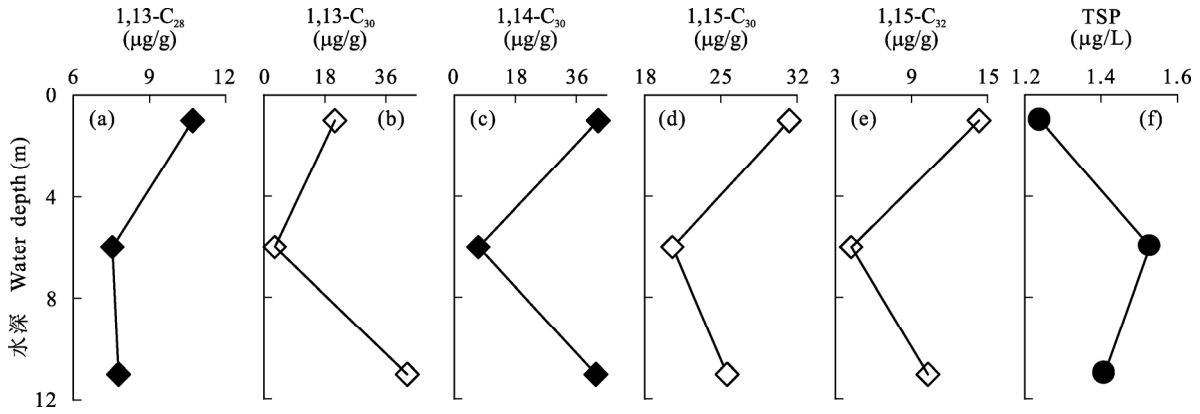


图 4 湖光岩玛珉湖冬季不同深度水体颗粒物中长链烷基二醇类化合物含量

Fig.4 The concentrations of long-chain aliphatic diols in the suspended particulate matter at different water depths in Huguanyan maar Lake

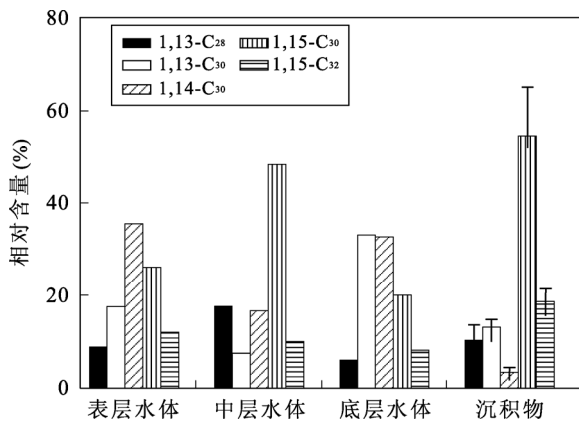


图 5 湖光岩玛珉湖中不同深度水体颗粒物和表层沉积物中长链烷基二醇类化合物百分含量

Fig.5 The percentage composition of long-chain aliphatic diol compounds in the suspended particulate matter at different water depths and surface sediments (n = 15) in Huguanyan maar Lake
取 15 个沉积物的平均值, 偏差范围如图所示。

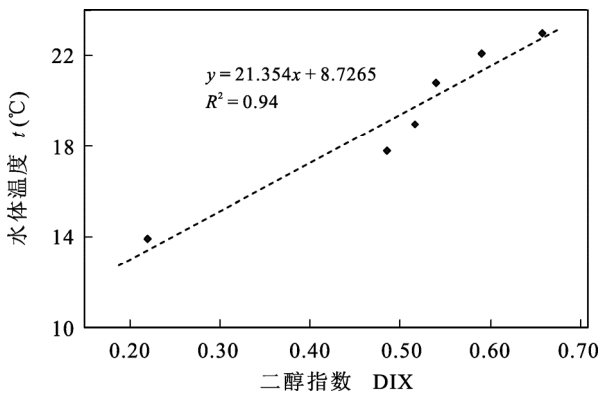


图 6 湖光岩玛珉湖中水体颗粒物二醇指数同实测水体温度的相关性

Fig.6 The correlation between DIX of the suspended particulate matter in water and water temperature in Huguanyan maar Lake

1,15-C₃₀ 和 1,15-C₃₂ 长链化合物主要来源于黄绿藻 (Eustigmatophytes), 同时也存在其他藻类如硅藻的

贡献。湖泊水体颗粒物中二醇指数(DIX)同实测的湖泊水体温度具有很强的线性相关性, 表明二醇指数能够用来作为水体温度的替代性指标, 这是国内陆地湖泊关于长链烷基二醇类化合物的古环境意义的新发现。此研究结果为长链烷基二醇类化合物在湖泊古环境重建应用中提供了现代过程证据。

参考文献(References):

- [1] de Leeuw J W, Irene W, Rijpstra C, Schenck P A. The occurrence and identification of C₃₀, C₃₁ and C₃₂ alkan-1, 15-diols and alkan-15-one-1-ols in Unit I and Unit II Black Sea sediments [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1981, 45(11): 2281-2285.
- [2] Grimalt J O, Simoneit B R T, G ó mez-Belinchón J I, Fischer K, Dymond J. Ascending and descending fluxes of lipid compounds in North Atlantic and North Pacific abyssal waters [J]. Nature, 1990, 345(6274): 147-150.
- [3] Volkman J K, Farrington J W, Gagosian R B. Marine and terrigenous lipids in coastal sediments from the Peru upwelling region at 15°S: Sterols and triterpene alcohols [J]. Org Geochem, 1987, 11(6): 463-477.
- [4] O'Leary T, Leeming R L, Nichols D S, Volkman J K. Biomarker assessment of natural and pollutant sources of organic matter in Port Phillip Bay, Australia [C]//Grimalt J O, Dorronsoro C. Organic Geochemistry: Developments and Applications to Energy, Climate, Environment and Human History. San Sebastian: AIGOA, 1995: 680-681.
- [5] Zeng Y B, Eglinton G, Robinson N, Cassani F M. Long-chain alkane-diol and alkan-keto-1-ol components of the Messel kerogen [J]. Cour Forsch-Inst Senckenberg, 1988, 107: 53-71.
- [6] Schouten S, Hoefs M J L, Sinninghe Damste J S. A molecular and stable carbon isotopic study of lipids in late Quaternary sediments from the Arabian Sea [J]. Org Geochem, 2000,

- 31(6): 509–521.
- [7] Zhao M, Mercer J L, Eglinton G, Higginson M J, Huang C. Comparative molecular biomarker assessment of phytoplankton paleoproductivity for the last 160 kyr off Cap Blanc, NW Africa [J]. *Org Geochem*, 2006, 37(1): 72–97.
- [8] Xu Y, Simoneit B R T, Jaffe R. Occurrence of long-chain *n*-alkenols, diols, keto-ols and sec-alkanols in a sediment core from a hypereutrophic, freshwater lake [J]. *Org Geochem*, 2007, 38(6): 870–883.
- [9] Shimokawara M, Nishimura M, Matsuda T, Akiyama N, Kawai T. Bound forms, compositional features, major sources and diagenesis of long chain, alkyl mid-chain diols in Lake Baikal sediments over the past 28,000 years [J]. *Org Geochem*, 2010, 41(8): 753–766.
- [10] Zhang Z, Metzger P, Sachs J P. Co-occurrence of long chain diols, keto-ols, hydroxy acids and keto acids in recent sediments of Lake El Junco, Galápagos Islands [J]. *Org Geochem*, 2011, 42(7): 823–837.
- [11] Volkman J K, Barrett S M, Dunstan G A, Jeffrey S W. C30–C32 alkyl diols and unsaturated alcohols in microalgae of the class Eustigmatophyceae [J]. *Org Geochem*, 1992, 18(1): 131–138.
- [12] Volkman J K, Barrett S M, Blackburn S I. Eustigmatophyte microalgae are potential sources of C₂₉ sterols, C₂₂–C₂₈ *n*-alcohols and C₂₈–C₃₂ *n*-alkyl diols in freshwater environments [J]. *Org Geochem*, 1999, 30(5): 307–318.
- [13] Gelin F, Boogers I, Noordeloos A A M, Sinninghe Damsté J S, Riegman R, de Leeuw J W. Resistant biomacromolecules in marine microalgae of the classes Eustigmatophyceae and Chlorophyceae: Geochemical implications [J]. *Org Geochem*, 1997, 26(11/12): 659–675.
- [14] Méjanelle L, Sanchez-Gargallo A, Bentaleb I, Grimalt J O. Long chain *n*-alkyl diols, hydroxy ketones and sterols in a marine Eustigmatophyte, *Nannochloropsis gaditana*, and in *Brachionus plicatilis* feeding on the algae [J]. *Org Geochem*, 2003, 34(4): 527–538.
- [15] Volkman J K, Barrett S M, Blackburn S I, Mansour M P, Sike E L, Gelin F. Microalgal biomarkers: A review of recent research developments [J]. *Org Geochem*, 1998, 29(5–7): 1163–1179.
- [16] Sinninghe Damsté J S, Rampen S W, Rijpstra W I C, Abbas B, Muyzer G, Schouten S. A diatomaceous origin for long-chain diols and mid-chain hydroxy methyl alkanoates widely occurring in Quaternary marine sediments: Indicators for high-nutrient conditions [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 2003, 67(7): 1339–1348.
- [17] Rampen S W, Schouten S, Wakeham S G, Sinninghe Damsté J S. Seasonal and spatial variation in the sources and fluxes of long chain diols and mid-chain hydroxy methyl alkanoates in the Arabian Sea [J]. *Org Geochem*, 2007, 38(2): 165–179.
- [18] Rampen S W, Schouten S, Sinninghe Damsté J S. Occurrence of long chain 1,14-diols in *Apedinella radians* [J]. *Org Geochem*, 2011, 42(5): 572–574.
- [19] 王文远, 刘嘉麒, 刘东生, 彭平安, Negendank J. 末次冰消期热带湖光岩玛珥湖古季风变化记录[J]. *地学前缘*, 2000, 7(增刊): 197–202.
Wang Wen-yuan, Liu Jia-qi, Liu Dong-sheng, Peng Ping-an, Negendank J. Changes in tropical Asia monsoon during the Last deglaciation [J]. *Earth Sci Front*, 2000, 7(suppl): 197–202 (in Chinese with English abstract).
- [20] 王文远, 刘嘉麒, Negendank J, 彭平安, 储国强, 刘东生, 骆祥君, Mingram J. 热带湖光岩玛珥湖记录的末次冰消期东亚夏季风两步式的变化[J]. *科学通报*, 2000, 45(8): 860–864.
Wang Wenyuan, Liu Jiaqi, Liu Dongsheng, Peng Ping'an, Lü Houyuan, Gu Zhaoyan, Chu Guoqiang, Negendank J, Luo Xiangjun, Mingram J. The two-step monsoon changes of the last deglaciation recorded in tropical Maar Lake Huguangyan, southern China [J]. *Chinese Sci Bull*, 2000, 45(16): 1529–1532.
- [21] 储国强. 湖光岩玛珥湖近 2000 年来炭屑沉积通量的变化与人类活动[J]. *第四纪研究*, 2001, 21(2): 187.
Chu Guo-qiang. Charcoal flux during the last 2000 years recorded in maar lake Huguangyan and human activity [J]. *Quatern Sci*, 2001, 21(2): 187 (in Chinese).
- [22] 吕厚远, 刘嘉麒, 储国强, 顾兆炎, Negendank J, Schettler G, Mingram J. 末次冰期以来湛江湖光岩玛珥湖孢粉记录及古环境变化[J]. *古生物学报*, 2003, 42(2): 284–291.
Lü Hou-yuan, Liu Jia-qi, Chu Guo-qiang, Gu Zhao-yan, Negendank J, Schettler G, Mingram J. A study of pollen and environment in the Huguangyan maar lake since the last glaciation [J]. *Acta Palaeontol Sinica*, 2003, 42(2): 284–291 (in Chinese with English abstract).
- [23] Fuhrmann A, Mingram J, Lücke A, Lu H, Horsfield B, Liu J, Negendank J, Schleser G H, Wilkes H. Variations in organic matter composition in sediments from Lake Huguang Maar (Huguangyan), south China during the last 68 ka: Implications from environmental and climatic change [J]. *Org Geochem*, 2003, 34(11): 1497–1515.
- [24] Mingram J, Schettler G, Nowaczyk N, Luo X, Lu H, Liu J, Negendank J. The Huguang maar lake: A high-resolution record of palaeoenvironmental and palaeoclimatic changes over the last 78,000 years from South China [J]. *Quatern Int*, 2004, 122(1): 85–107.
- [25] Yancheva G, Nowaczyk N R, Mingram J, Dulski P, Schettler G, Negendank J F W, Liu Jiaqi, Sigman D M, Peterson L C, Haug

- G H. Influence of the intertropical convergence zone on the East Asian monsoon [J]. *Nature*, 2007, 445(7123): 74–77.
- [26] 王文远, 刘嘉麒, 彭平安. 湖泊沉积生物硅的测定与应用: 以湖光岩玛珉湖为例[J]. *地球化学*, 2000, 29(4): 327–330.
- Wang Wen-yuan, Liu Jia-qi, Peng Ping-an. Determination and application of biogenic silica in lake sediments: An example from Huguangyan maar lake, southern China [J]. *Geochimica*, 2000, 29(4): 327–330 (in Chinese with English abstract).
- [27] 胡建芳, 彭平安, 房殿勇, 贾国东, 汪品先. 南海沉积物中 C₃₀–C₃₂ 烷基二醇的检出及可能的古环境信息[J]. *地球化学*, 2001, 30(6): 569–578.
- Hu Jian-fang, Peng Ping-an, Fang Dian-yong, Jia Guo-dong, Wang Pin-xian. Identification and potential paleoenvironmental information of C₃₀–C₃₂ diols in the South China Sea sediments [J]. *Geochimica*, 2001, 30(6): 569–578 (in Chinese with English abstract).
- [28] Rampen S, Willmott V, Kim J-H, Uliana E, Schefuß E, Sinninghe-Damsté J S, Schouten S. A reappraisal of long-chain diol proxies [C]. *IMOG 2011 Secretary. The 25th International Meeting on Organic Geochemistry (Book of Abstract)*. Middlesex: IMOG 2011 Secretary, 2011: 123.