

# 生物标志化合物对东、西太湖 不同湖泊类型的判识\*

瞿文川 王苏民 张平中<sup>†</sup> 陈践发<sup>‡</sup> 何海军

(中国科学院南京地理与湖泊研究所开放实验室 南京 210008)

<sup>†</sup> (中国科学院兰州地质研究所开放实验室 兰州 730000)

**提要** 从生物标志化合物的角度,对东、西太湖沉积物中饱和烃组分进行了分析,通过对其正构烷烃碳数分布型式、主峰碳位置、L/H 等指标对比,对照西太湖中的主要水生植物蓝藻和东太湖中的主要水生植物的饱和烃的组成特征,同时结合常规指标 C/N 的分析结果,对东、西太湖湖泊类型进行判识——西太湖为藻型湖泊,东太湖为草型湖泊。

**关键词** 太湖 生物标志化合物 湖泊类型

**学科分类号** P343

科学地对湖泊营养状况进行分类,可以更好地研究湖水的营养状况与生物生长之间的演替规律,对湖泊资源的合理开发利用和保护提供科学依据。不同营养类型的湖泊,根据湖水中初级生产力者生物的种类分为藻型、草型和藻草混合型 3 种类型。一般是通过对湖水中藻类和大型水生植物生物量的比较,将藻类占优势的湖泊称为藻型湖泊,大型水生植物占优势的湖泊称为草型湖泊(孙顺才等,1993)。太湖是中国五大淡水湖泊之一,位于  $31^{\circ}30'N$ ,  $120^{\circ}30'E$ ,若以洞庭东山的东胶嘴至湖泊南岸的西浜、庙港一线为界,其东侧通常成为东太湖,西侧为西太湖(李文朝,1996)。西太湖为太湖的主体,其浮游植物(主要是藻类)生长茂盛,生物量为  $6.65-25.10\text{mg/L}$ 。其中五里湖含量最高,生物量达  $25.10\text{mg/L}$ ,已对工农业生产及生活用水构成威胁,富营养化程度严重,为一藻型湖泊;东太湖实际为太湖的一个大湖湾,水域面积为  $130\text{km}^2$ ,一般水位为  $1-1.2\text{m}$ ,芦苇、菰草等维管水生植物生长茂盛,藻类则很少,生物量仅为  $3.64\text{mg/L}$ ,具有清澈的水质和良好的溶氧条件,富营养化程度不高,其生态环境和水生资源利用价值等方面远优于藻型湖泊,为典型的草型湖泊(孙顺才等,1993;舒金华等,1996)。本文从生物标志化合物的角度,分析东、西太湖表层沉积物中有机物的饱和烃组分在碳数分布型式、主峰碳位置等方面的差别,对照西太湖中的蓝藻和东太湖中的维管水生植物饱和烃组成特征,同时结合常规指标 C/N 的分析结果,探索判识不同类型湖泊(藻型、草型)的生物地化指标。

\* 中国科学院重大基金资助项目, KZ951-B1-205, KZ951-A1-402 号。瞿文川,男,出生于 1966 年 12 月,副研究员, E-mail: wen chq@ hotmail. com

收稿日期: 1998-11-20, 收修改稿日期: 2000-04-12

## 1 样品和实验

### 1.1 样品的采集

研究样品采自太湖, 时间为 1995 年 11 月。其中东太湖钻孔位于东太湖水域中心, 岩芯长 2.46m, 水深 1.12m; 西太湖钻孔位于马迹山 SSE, 岩芯长 3.96m, 水深 2.26m。实验所用蓝藻样品采自西太湖, 挺水植物采自东太湖。

### 1.2 实验

**1.2.1 饱和烃分析** 样品采用冰冻保存, 实验前沉积物样品在室温下干燥并粉碎至 100 目; 植物样品室温下凉干后剪碎至约 2mm 长。用  $\text{CHCl}_2$ :  $\text{CH}_3\text{OH}$  (2: 1, V/V) 溶剂进行索氏抽提 72h。用纯铜片进行脱硫。去掉沥青质的抽提物用不同极性溶剂在  $\text{Al}_2\text{O}_3$ / $\text{SiO}_2$  柱上进行分离, 其中用石油醚分离饱和烃组分。

对饱和烃组分用色谱-质谱联用仪 (Hp5890 毛细管气相色谱仪-Hp5989A 四极杆质谱仪) 进行分析。实验条件为: HP-5 型毛细管柱 (30m × 0.25mm), 载气为 He, 程序升温  $70 \rightarrow 300^\circ\text{C}$ , 升温速率  $4^\circ\text{C}/\text{min}$ , 离子源温度  $250^\circ\text{C}$ , 电离电压为 70eV。

**1.2.2 有机碳 (TOC)、总氮 (TN) 分析** TOC 的测试采用重铬酸钾容量法 (外加热法) (王苏民等, 1990); 沉积物中无机氮含量很低, 用沉积物总 N 含量代替 TON, 总 N 的测试采用过硫酸盐-紫外分光光度法 (于天仁等, 1980)。

## 2 研究基础

湖泊沉积物中有机质来源可以是以细菌、蓝藻为代表的低等植物; 也可以是浅水地带的挺水、沉水维管植物及陆生高等植物。不同的生物体中正烷烃的分布特征不同。藻类表现出在  $\text{C}_{15}$  或  $\text{C}_{17}$  处有最大值, 而高碳数丰度却较小的特点, 如绿藻  $n\text{C}_{17}$  烷占优势 (占正烷烃含量的 36%—95%), 褐藻  $n\text{C}_{15}$  烷占优势 (占正烷烃含量的 98%)。高等生物体中一般高分子量的正烷烃占优势, 最丰富的组分是  $\text{C}_{27}$ 、 $\text{C}_{29}$ 、 $\text{C}_{31}$  和  $\text{C}_{33}$ , 在  $\text{C}_{23}$ — $\text{C}_{33}$  范围内有明显的奇偶优势 (钱君龙等, 1990; 中国科学院地球化学研究所和有机地球化学与沉积学研究室编著, 1982; Tissot *et al.* 1977), 所以沉积物中同系化合物如正烷烃、正脂肪酸的主峰碳 ( $\text{C}_{\text{max}}$ ) 及分布型式有重要的来源指征意义。以  $\text{C}_{24}$ — $\text{C}_{30}$  为主的单峰分布特征, 说明以高等植物输入为主, 且湖泊往往为贫营养湖泊; 以  $\text{C}_{15}$  或  $\text{C}_{17}$  为主的单峰分布特征, 说明以低等植物输入为主以及具较高的湖泊生产力。另外, 同系化合物如正烷烃的短碳链 (< 23) 组分 (Lower Weight Components, L) 与长碳链 (> 23) 组分 (High Weight Components, H) 间的相对含量 (L/H), 也可反映以细菌、藻类为代表的低等生物输入为主与高等植物输入为主对湖泊沉积有机质的相对贡献, 较高的 L/H 往往指示藻类、细菌等有机质的优势输入<sup>1)</sup>。

## 3 结果和讨论

### 3.1 对表层沉积物、蓝藻以及挺水植物的饱和烃组分的分析

对东、西太湖表层沉积物及西太湖中的蓝藻、东太湖的挺水植物的饱和烃组分进行了测试, 其正构烷烃 (M/Z85) 的分布型式如图 1 所示。

从图 1 中可以看出, 西太湖表层沉积物的碳数分布范围  $\text{C}_{13}$ — $\text{C}_{33}$ , 主峰碳为  $\text{C}_{17}$ , 短

1) 张干, 1995. 南京固城湖 GS-1 孔沉积物中有机类脂化合物的组成及其古气候古环境意义, 博士论文

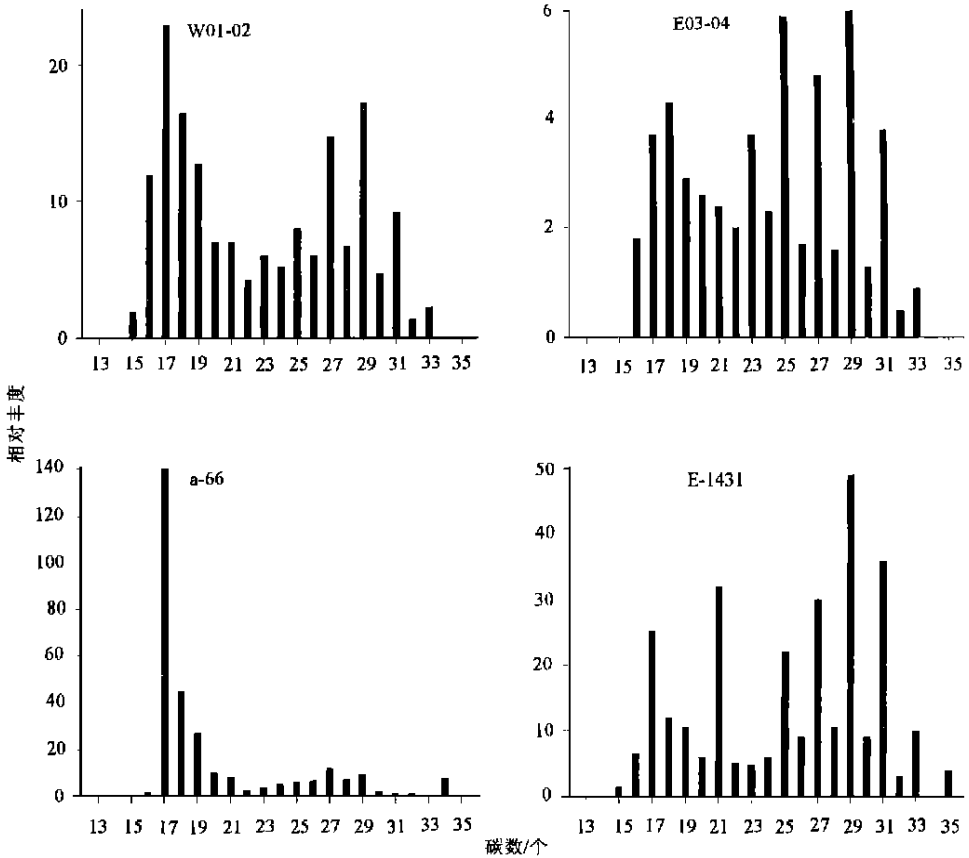


图1 东太湖(E03—04)、西太湖(W01—02)表层沉积物及西太湖中的蓝藻(a-66)、东太湖的挺水植物(E-1431)的正构烷烃(M/Z85)的分布型式

Fig. 1 Distribution patterns of normal alkane of the surface sediment of the east Taihu Lake(E03—04) and the west Taihu Lake(W01—02), blue algae in the west Taihu Lake(a-66) and emerged plant in the east Taihu Lake(E-1431)

碳链(< 23)组分与长碳链(> 23)相对含量 L/H 为 1.04, C<sub>31</sub>/C<sub>17</sub> 为 0.40, 奇偶优势指数 OEP 为 1.65, 姥鲛烷与植烷之比 Pr/Ph 为 0.80。而西太湖主要水生植物蓝藻的饱和烃的碳数分布范围为 C<sub>16</sub>—C<sub>33</sub>, 主峰碳为 C<sub>17</sub>, L/H 为 4.85, C<sub>31</sub>/C<sub>17</sub> 为 0.01, 奇偶优势指数 OEP 为 1.55(表 1)。对照西太湖表层沉积物与蓝藻, 可以认为西太湖表层沉积物有机质来源以西太湖中大量繁殖的蓝藻为主, 目前湖泊生产力较高, 富营养化程度高, 表现为藻型湖泊特征。

而东太湖表层沉积物的碳数分布范围为 C<sub>16</sub>—C<sub>33</sub>, 主峰碳为 C<sub>17,29</sub>, 短碳链(< 23)组分与长碳链(> 23)相对含量 L/H 为 0.63, C<sub>31</sub>/C<sub>17</sub> 为 0.95, 奇偶优势指数 OEP 为 3.38, 姥鲛烷与植烷之比 Pr/Ph 为 0.59。而东太湖主要水生植物(挺水植物)的饱和烃的碳数分布范围为 C<sub>15</sub>—C<sub>35</sub>, 主峰碳为 C<sub>29</sub>, L/H 为 0.42, C<sub>31</sub>/C<sub>17</sub> 为 1.44, 奇偶优势指数 OEP 为 3.22(表 1)。对照东太湖表层沉积物与挺水植物, 可以认为东太湖表层沉积物有机质来

表 1 东、西太湖表层沉积物及西太湖中的蓝藻、东太湖中的挺水植物的饱和烃主要参数

Tab. 1 Hydrocarbon parameters of the surface sediment of the west Taihu Lake and the east Taihu Lake, blue algae in the west Taihu Lake and emerged plant in the east Taihu Lake

项 目	碳数范围	主峰碳	Pr/Ph	OEP	pr/C <sub>17</sub>	ph/C <sub>18</sub>	C <sub>31</sub> /C <sub>17</sub>	L/H
西太湖表层沉积物	C <sub>15</sub> —C <sub>33</sub>	C <sub>17</sub>	0.80	1.65	0.74	1.13	0.40	1.04
东太湖表层沉积物	C <sub>16</sub> —C <sub>33</sub>	C <sub>17</sub> , C <sub>29</sub>	0.59	3.38	0.56	0.83	0.95	0.63
蓝 藻	C <sub>16</sub> —C <sub>34</sub>	C <sub>17</sub>	2.55	1.55	0.73	0.89	0.01	4.85
挺水植物	C <sub>15</sub> —C <sub>35</sub>	C <sub>29</sub>	1.17	3.22	0.67	1.21	1.44	0.42

源以东太湖中生长较为茂盛的维管水生植物为主, 目前湖泊生产力较低, 富营养化程度低, 表现为典型的草型湖泊特征。

### 3.2 东、西太湖沉积物有机碳( TOC)、有机氮( TON) 及 C/N 的分析

对东、西太湖的两个沉积物钻孔的 TOC、TON 及 C/N 的测试结果表明, 东太湖表层沉积物的 TOC 为 0.51%, TON 为 0.039%, C/N 为 13.08; 西太湖表层沉积物的 TOC 为 0.66%, TON 为 0.083%, C/N 为 7.95。对比东、西太湖的表层沉积物这些指标, 其有机质 C 和 N 组成有明显差别, 东太湖为高碳低氮区, C/N 值较高, 主要来源于湖区浅水地带生长的维管水生植物; 西太湖为高碳高氮区, C/N 值较低, 仅为 7.95, 主要来源于湖区生长较为茂盛的蓝藻, 湖泊富营养化程度较为严重。

## 4 结语

对东、西太湖沉积物中饱和烃组分进行了测试, 通过对其正构烷烃碳数分布型式、主峰碳位置、L/H 等指标对比, 对照西太湖中的主要水生植物蓝藻和东太湖中的主要水生植物的饱和烃的组成特征, 同时结合常规指标 C/N 的分析结果, 对东、西太湖湖泊类型进行判识, 西太湖为藻型湖泊, 东太湖为草型湖泊。研究表明, 湖泊作为大气圈、生物圈相互作用的连接点, 其沉积记录有别于其它地质记录在于有丰富的生物圈信息, 并具有其复杂性( 流域+ 水体)。通过东、西太湖的比较, 说明生物标志化合物可以有效地指示不同湖泊类型( 藻型和草型湖泊), 在恢复湖泊环境演化历史的过程中是一个很有潜力的指标。

致谢 本文在采样、实验过程中得到中国科学院南京地理与湖泊研究所吴瑞金、夏威夷等同志和中国科学院兰州地质研究所崔明中、丁万仁等同志的大力帮助, 谨致谢忱。

## 参 考 文 献

- 于天仁, 王振权, 1980. 土壤分析化学. 北京: 科学出版社, 15—17  
 孙顺才, 黄漪平, 1993. 太湖. 北京: 海洋出版社, 1—6  
 孙顺才, 黄漪平, 1993. 太湖. 北京: 海洋出版社, 159—174  
 李文朝, 1996. 浅型富营养湖泊的生态恢复——五里湖水生植被重建实验. 湖泊科学, 8(增刊): 1—10  
 中国科学院地球化学所和有机地球化学与沉积学研究室编著, 1982. 有机地球化学. 北京: 科学出版社, 71—731  
 钱君龙, 张连第, 乐美麟, 1990. 过硫酸盐消化法测定土壤全氮全磷. 土壤, 22(5): 258—262  
 舒金华, 黄文钰, 吴延根, 1996. 中国湖泊营养类型的分类研究. 湖泊科学, 8(3): 193—194  
 Tissot B P, Pelet R, Rouache J *et al*, 1977. Alkanes as geochemical fossils indicators of geological environments. In:

Campos R, Coni J ed. Advances in Organic Geochemistry 1975. Enadimsa, Madrid, 117—154

## CLASSIFYING LAKE TYPES USING BIOLOGICAL MARKERS

QU Wen- chuan, WANG Su- min, ZHANG Ping- zhong, CHEN Jian- fa, HE Hai- jun  
(*Nanjing Institute of Geography & Limnology, The Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210008*)  
(*Lanzhou Institute of Geology, The Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, 730000*)

**Abstract** In the present study, alkane based organic markers are used to distinguish between different lake types. Further, the organic geochemical characteristics of the surficial sediments of Taihu Basin are described. Taihu Lake is one of the largest freshwater lakes in China. Its east basin supports a dense population of vascular plants (sediment C/N= 13.8) while the west basin is almost free of vascular plants and supports a high phytoplankton (predominantly cyanobacteria) biomass (sediment C/N= 7.95). In the eutrophic west basin, the normal alkanes and fatty acids were primarily short chain molecules (major carbon peaks at C<sub>15</sub> and C<sub>17</sub>), whilst the mesotrophic east basin sediments contained normal alkanes and fatty acids with longer chain molecules (major carbon peaks at C<sub>24</sub> to C<sub>30</sub>). Thus, biological marker data provide paleolimnologists with another tool in distinguishing between mesotrophic vascular plant dominated lakes and eutrophic cyanobacteria dominated lakes.

**Key words** Taihu Lake Biomarkers Typology of Lake

**Subject classification number** P343

### 欢迎订阅 2001 年《上海水产大学学报》

《上海水产大学学报》是上海水产大学主办的以水产科学技术为主的综合性学术性刊物。主要反映各学科科研成果,促进学术与教学研究的交流与繁荣。主要刊载渔业资源、水产养殖和增殖、水产捕捞、水产品保鲜与综合利用、渔业水域环境保护、渔船、渔业机械与仪器、渔业经济与技术管理以及水产基础研究等方面的论文、调查报告、研究简报、综述与评述、简讯等,并酌登学术动态和重要书刊的评介等。

本刊为季刊,大 16 开,国内外公开发行。每期单价:6.00 元。国际标准刊号:ISSN1004-7271,国内统一刊号:CN31-1613/S。国内邮发代号:4-604,国际发行代号 4822Q。读者可在当地邮局订阅,也可直接汇款到编辑部订阅。

编辑部地址:上海市军工路 334 号,上海水产大学 38 信箱,邮编:200090。

联系电话:(021)65710892,传真:(021)65680965。

E-mail: xuebao@shfu.edu.cn