

古湖沼学中的化石硅藻

——80年代以来研究进展

杨世蓉

吉磊

(中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008) (中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

提要 化石硅藻由于其丰度高、壳体易于保存、对环境变化敏感、分布范围广等特点, 已成为古湖沼学研究中的重要研究手段。80年代以来国际上湖泊硅藻研究在以下几方面得到迅速发展: (1) 系统分类; (2) 与环境因子的关系; (3) 湖泊酸化、富营养化; (4) 气候变化; (5) 转换函数; (6) 再沉积作用和溶解作用; (7) 与色素对比分析等。我国湖泊化石硅藻研究起步较晚, 80年代以来已积累了一些研究资料, 近年来此项研究已开始受到重视和加强。

关键词 化石硅藻 古湖沼学 研究进展

1 前 言

硅藻为单细胞藻类, 属硅藻门 (Bacillariophyta)。硅藻除细胞形态及色素体所含色素与其他各门类藻类不同外, 主要特点是具有硅质的细胞壁。硅藻的硅质壳体由上、下两个半壳套合而成, 两个壳面的形态和纹饰是硅藻分类的基本依据。硅藻门分为两个纲, 即中心纲 (Centricae) 和羽纹纲 (Pennatae), 前者的壳面纹饰是辐射对称的, 后者的壳面纹饰是长形、两侧对称或不对称形式的。

硅藻的分布广泛, 生活在海水、半咸水和淡水中, 呈浮游、底栖或附着生活状态。硅藻的最早记录可能是在早侏罗纪, 但从晚白垩纪开始才大量发展起来, 并一直延续到第四纪。在地质学中, 化石硅藻研究的主要作用是地层的划分对比和古环境的恢复。深海钻探计划 (DSDP) 开始以来, 海洋硅藻地层学得到了迅速的发展, 特别是在水深大于碳酸盐补偿深度 (CCD) 的大洋底沉积物中, 硅藻是划分第三纪和第四纪地层的主要依据。

湖泊硅藻主要是淡水和半咸水类型, 后者主要见于内陆盐湖和受海水影响的近海岸湖泊中。湖泊化石硅藻的鉴定、描述和环境解释始于19世纪中叶, 一些地质学家对岩层中包括硅藻在内的微体化石进行鉴定和分类以及分布和时代的研究。同时, 研究者对硅藻的古环境也作了初步解释。例如 Okeden^[1] 在英国威尔士内陆沉积物中发现海湾相硅藻, 即认为该地过去属于海岸环境。Gregory^[2] 通过苏格兰沉积物中海湾和湖泊硅藻的确定来分析过去的海面变化。此后的一百多年中, 硅藻及其古环境研究, 在采样技术、定量化、测年技术和观察技术方面得到了极大的发展。目前在国际上, 作为反映过去环境和气候变化的一个有效指标, 化石硅藻已成为古湖沼学家广泛使用和非常熟悉的重要手段。

收稿日期: 1993年5月31日, 接收日期: 1993年9月4日。

2 化石硅藻的古湖沼学意义

古湖沼学^①是运用保存在沉积剖面中的物理、化学和生物信息来重建水生系统过去环境条件的一门多学科综合科学^[3]。古湖沼学研究的主要目的是从较长时间尺度上了解湖泊的功能及其对湖泊环境和湖泊生态体系的影响,湖泊对于外部因素如气候、水文、构造作用和人类活动因素等的反映,为环境监测和水生生态体系管理提供湖泊历史背景和发生过程档案,并据此预测未来演化趋势,为环境保护和管理提供依据。

化石硅藻在古湖沼学中的作用是根据现代湖泊水体中现生硅藻植物群与其分布、生态和环境之间的相互关系,进行古湖泊的历史类比,结合其他微体古生物、化学元素、稳定同位素、矿物、有机化合物以及核素测年资料,重建不同时代湖泊环境的变化历史。由于以下原因,硅藻在古湖沼学研究中起着十分重要作用:

(1) 在湖泊水体中,硅藻的丰度极高,同样在湖泊沉积物中硅藻的浓度也非常高。在适合的环境条件下甚至可以形成几乎全由硅藻壳体组成的硅藻土沉积。

(2) 硅藻对于水体的化学环境和物理环境十分敏感,水体的化学成分、盐度、pH 值、营养成分、光照、温度、浊度和深度等环境条件的微小变化,都可能改变硅藻的组合、分异度、优势种和浓度等。这一点是根据硅藻恢复过去环境变化的基本条件。

(3) 与其他藻类或微体化石相比,硅藻的硅质壳体易于在沉积物中保存下来。

(4) 硅藻的分布范围很广,从淡水湖泊到高盐度盐湖,从贫营养湖泊到腐殖营养湖都可能发育硅藻。

(5) 由于硅藻的分类是根据壳体特征来进行的,所以化石硅藻与现生硅藻一样容易鉴定。

3 湖泊化石硅藻的研究现状和进展

近十几年来,随着古湖沼学的迅速发展,国际上湖泊化石硅藻研究日趋深入,在硅藻系统分类、气候变化、湖泊酸化、环境因子定量化、埋葬学等方面取得令人目不暇接的成果和进展。

3.1 硅藻系统分类

1872年Smith^[4]首次发表了硅藻分类系统,以后一百多年中硅藻分类一直以此为基础。经过长期不断修订,目前硅藻分类已日趋成熟。随着电子显微镜和电子计算机的广泛使用,在硅藻分类系统也引入了新的技术和方法。近年来的主要进展有以下几方面:

(1) 对过去已有的分类群(主要是科、属和种)进行重新修订、合并和分类位置的调整。

^① 古湖沼学有两种不同的含义。一种是地质学意义的古湖沼学,研究地质历史时期内湖盆的沉积、古生态、构造和矿产等。另一种是湖沼学和生态学意义上的古湖沼学,研究对象是晚第四纪湖泊环境、生态和气候,以反映近代湖泊的演化历史。本文持后一种含义。

特别是对为数众多的同物异名分类群的修订是硅藻学家一项繁重的任务。例如 Lange-Bertalot 等^[5]对淡水-半咸水中广泛分布的 *Nitzschia lanceolatae* Grunow 类群的 69 个类型进行了系统的修订。

(2) 利用电镜对硅藻进行显微构造分析,观察壳体的细微构造,使硅藻在光学显微镜中无法观察到的一些细微特征能够清楚地显示出来,成为硅藻分类的重要依据。已有不少人根据电镜显示的构造特征对已有属种进行修订和调整,如 Stoermer^[6]等。

(3) 用数值分类法对硅藻的一些分类群进行重新分类。例如 Stoermer^[7]等对硅藻壳体的变化规律进行模拟并与实际标本进行对比,探讨了硅藻分类的定量依据。

(4) 通过重新修订硅藻分类群,建立分类群与系统演化的关系,使之更加接近自然分类。

3.2 硅藻与环境因子的关系

影响湖泊中硅藻时空分布的因素很多,其中最重要的是硅藻生存的环境条件。60年代 Patrick 等^[8]对美国淡水和半咸水硅藻进行了广泛调查后,认为影响硅藻生存的环境条件是盐度、溶解重碳酸钙、氢离子浓度、元素铁、硅、氮、硫、钛、腐植酸盐、光照、温度、水流等,近年来仍有不少研究者继续探讨硅藻与其环境因子的关系并以此作为推测过去环境变化的根据。Bradbury^[9]认为用硅藻可以进行环境解释,包括湖水 pH、化学、盐度、营养状态、物理条件如深度、湖水更新周期、侵蚀和碎屑补给、浊度和分层,所以可以识别过去的陆地植被、森林火灾、构造作用和气候变化。Williams^[10]提出硅藻组合对水体环境变化如盐度、pH、碱度、微量元素、光照条件、营养物质等十分敏感,虽然对温度没有直接的反映,但在深度降低和硅藻生产力下降之间有着良好的对应关系。Owen 等^[11]最近对非洲中部马拉维湖的硅藻在平面和在岩芯中的分布进行研究,提出硅藻组合受 Si/P 比、Si 浓度、湍流和光透条件所控制,而这些因素受由风力、湖面波动和湖底地形引起的湖水混合作用深度和持续时间的影响。例如较高的 Si/P 比有利于 *Stephanodiscus* 的生长,较低的 Si/P 比适于 *Nitzschia*, 而 *Aulacoseira* 则需要营养物质丰富和湍流较强的条件。关于湖泊硅藻与环境因子的定量关系研究,80年代以来得到了迅速发展,有不少研究者建立了区域性硅藻-pH、硅藻-盐度的转换函数关系,这将在 3.5 中详述。

3.3 硅藻与湖泊酸化、富营养化研究

70年代以来工业发达地区如北美和欧洲的湖泊生态系统普遍受到工业污染的威胁。来自大气的污染物质沉降和流域地区的土地利用,造成湖泊水质的酸化或富营养化。古湖沼学在湖泊酸化和富营养化研究中的作用是通过沉积记录的解释,来区别自然因素和人为因素的影响。

硅藻与湖泊酸化的关系,在 80 年代已成为国际上环境科学研究中的热门课题,这以 1983 年在法国里昂召开的第 22 届国际湖沼学大会“根据沉积硅藻残体恢复 pH 值”专题讨论会为标志^[12]。同年,英国、挪威和瑞典发起了欧洲的“地表水酸化计划”(SWAP),其中古湖沼学项目中的主要技术是硅藻分析^[13]。1986 年始在北美地区开展的“近代湖泊酸化古生态调查”(PIRLA)项目亦将化石硅藻作为湖泊酸化过程分析的主要工具之一^[14]。PIRLA 项目研究范围包括美国和加拿大的阿迪朗达克地区、北新英格兰地区、北部大湖地区和北佛罗里达地区。PIRLA 项目研究表明,根据湖泊沉积物岩芯的硅藻、金藻和地球化学分析以及湖

水 pH 值恢复,上述地区湖泊近几十年至一百多年来湖水 pH 值均有所降低,但阿迪朗达克地区湖泊的酸化起因于化石燃料造成的大气沉降物质输入^[15],而北佛罗里达地区的湖泊酸化主要是自然因素引起的^[16]。

与此同时,通过湖泊沉积岩芯的硅藻分析来重建湖泊富营养化历史也是近几年化石硅藻的主要内容之一^[17,18]。Engstrom 等^[19,20]推测近代湖泊营养状态变化时主要的根据是硅藻和地球化学资料。

3.4 硅藻与气候变化

从湖泊沉积中识别过去气候变化的信息已成为古气候学家最为重视的问题之一。从湖泊记录中寻找各种有效而简便的环境代用指标是解决问题的关键。硅藻因其对外界环境的反映十分灵敏,用以指示短时间尺度(1—10² a)的气候变化具有其他指标如孢粉所不能比拟的优越性。当然,在运用硅藻解释古气候的前提条件是了解气候要素与湖泊水体环境的关系。

Kilham 等^[21]曾提供了一个利用美国明尼苏达州埃尔克湖年纹层中硅藻推测古气候的实例。在约 10400 a 的纹层记录中 *Fragilaria crotonensis*、*Stephanodiscus minutus* 和 *Melosira ambigua* 的比例受湖水中营养物质所控制,而后的分布和变化是由于气候因素引起湖水循环所造成的。根据埃尔克湖的硅藻记录,可以识别出公元 900—1130 年的“海盗期”温暖气候条件和随后发生的公元 1550—1850 年小冰期^[9]。

Rawlence 等^[22,23]对加拿大新不伦瑞克省的两个小湖近 7m 长的岩芯分别进行硅藻分析,通过硅藻组合带的建立恢复了末次冰期以来的气候波动历史,其中最重要的是根据硅藻属种和浓度的变化发现了新仙女木冷事件。

在南极地区沉积地层中缺少孢粉资料,而南极的冰盖条件对湖泊水生生物的影响很大,因此硅藻可作为反映气候变化的良好标志。Schmidt 等^[24]对南极乔治王岛两个全新世沉积物岩芯进行研究,发现化石硅藻类型受冰融水输入、海水浪花以及湖面波动的影响,都与南极冰盖进退及海平面变化有关。

3.5 硅藻与湖泊水化学的转换函数

随着硅藻在古湖沼学中广泛运用,古湖沼学家开始逐步寻找数学方式,试图对古湖泊化学作出定量估算,即建立硅藻种或组合与水化学之间的转换函数关系。目前已有的较为成功的转换函数有:硅藻-pH 值、硅藻-碱度、硅藻-盐度等。

硅藻-pH 值的转换函数在 60 年代即有人试图建立(如 Merilainen^[25])。由于近年来湖泊酸化项目如 SWAP、PIRLA 的研究,使硅藻作为湖水 pH 值的指标日趋成熟,至今硅藻-pH 值的转换函数建立已达到较为完善的程度。现在世界范围内有不少被作为湖泊酸化历史调查的湖泊都根据当地和附近地区湖泊建立了硅藻-pH、碱度和溶解有机碳(DOC)的转换函数关系,以此来恢复二三百年来湖水酸化过程。这方面比较著名的例子有:瑞典西南部湖泊^[26]、挪威南部湖泊^[27]、美国阿迪朗达克山脉湖泊^[15]、内华达山脉湖泊^[28]、安大略西北部湖泊^[29]、加拿大魁北克省湖泊^[30]和东非湖泊^[31]等。

运用硅藻作为盐度指标的研究也有较大的进展。Fritz^[32]有一个成功的实例。他们分析了北美大平原地区 64 个湖泊(湖水盐度变化范围 0.65‰—270‰)表层沉积物硅藻样品。运用主成分分析和对应分析建立了硅藻-盐度转换函数,并将转换函数运用到德弗尔斯湖岩芯

分析中,发现硅藻推测盐度与本世纪以来的实测记录十分相近,据此 Fritz 等进一步恢复了末次冰期至全新世湖泊古盐度变化和湖面波动历史^[33]。

3.6 再沉积作用和溶解作用对硅藻分布的影响

通常认为沉积物中的硅藻基本代表原始的硅藻群落。但近年来发现湖泊水体中的硅藻与湖底沉积物中的组合有一定的差别,其原因与浮游动物对藻类的捕获、硅藻沉降速率和沉积后溶解作用有关^[34]。例如密歇根湖^[35]、东非坦噶尼喀湖^[36]湖底硅藻组合受浮游动物粪粒分布的影响。Anderson^[37]对英国弗利特湖的研究则强调了再沉积作用对沉积物硅藻组合的影响。Anderson^[38]对北爱尔兰一个单循环富营养湖的研究表明,入流造成硅藻在湖泊深水区的沉积通量较高,在浅水地带因大植物的保护,减少了沉积物的再悬浮,亦可使浅水区硅藻的沉积通量加大。Frey^[39]提出,近岸带的硅藻在水流作用下常搬运至岸外地带堆积。

在硅藻埋葬学方面,Barker^[40]通过对坦桑尼亚的马尼亚拉湖岩芯沉积物硅藻进行一系列实验分析。他认为在盐湖中在高盐度湖水和 pH 值达到 9 的条件下,将产生硅藻壳体的选择性化学溶解,形成无化石层或其组合被改变,在这种情况下沉积剖面中保存下来的硅藻不能完全反映其生物群落。所以在马尼亚拉的低湖面时期,高盐度水造成硅藻壳体的溶解,并使硅藻记录缺失。

3.7 硅藻与沉积色素的对比分析

沉积物中保存下来的沉积色素与硅藻一样,也可作为古生产力和营养状态的一个指标^[41,42]。近年来在古湖沼学研究中不少研究者在分析硅藻演化序列的同时,平行分析沉积色素,特别是颤藻黄素和蓝藻叶黄素,以探讨藻类生物群落的残余对于湖泊环境、生态的反映。例如,Engstrom 等^[19]在对美国佛蒙特地区哈维斯湖的古湖沼学研究中,利用色素和硅藻反映湖泊初始生产力和营养状态,并注意颤藻黄素浓度和浮游硅藻之间的明显负相关关系,即颤藻黄素增加时,浮游硅藻减少。他们推测颤藻(*Oscillatoria*)生长过程中产生的植物间抑制作用(allelopathy)不利于硅藻的生长。Hickman 等^[43]对加拿大沃伯门湖岩芯沉积物研究时,发现硅藻的浓度减少不仅与湖水营养状态提高和盐度增加有关,而且与 *Oscillatoria* 种群的生物竞争有关。

4 中国的湖泊化石硅藻研究现状

我国的化石硅藻研究起步很晚,60年代才出现有关研究报告^[44]。80年代起化石硅藻的研究文献增多,至今关于湖泊化石硅藻的研究论文累计已有二十多篇^{①②}。纵观这些研究论文,大致可分为以下三方面:

4.1 第三纪硅藻土地层的化石硅藻

这类研究的主要内容是硅藻属种描述和地层时代确定,研究对象多属于硅藻土和含硅藻土地层,因此具有一定的地质意义和经济价值,如山东山旺中新世硅藻^[45]、浙江嵊县中新世硅藻^[46]等。

① 中国微体古生物学会、中国科学院南京地质古生物研究所。中国微体古生物学文献目录(1923—1983),1984。

② 中国微体古生物学会、中国科学院南京地质古生物研究所。中国微体古生物学文献目录(1984—1991),1992。

4.2 西藏地区高原湖泊的化石硅藻

70—80年代我国科学家对青藏高原进行了大规模的多学科综合考察。科考人员在西藏地区高原湖泊采集了一些湖泊阶地和湖滨沉积物的硅藻标本,由于较高的硅藻丰度和珍贵的标本来源,引起了我国硅藻学家的兴趣。这类研究的内容基本上是属种描述、化石组合、古环境讨论以及高原地区不同湖泊的硅藻组合对比。例如斯潘古尔错湖泊阶地硅藻^[47]、曼冬错湖泊阶地硅藻^[48]、纳木错的底泥和阶地中硅藻^[49]等。

4.3 第四纪湖泊化石硅藻与环境演化

除西藏地区的第四纪湖泊化石硅藻研究外,对我国其他地区第四纪湖相地层中的硅藻也有一些研究。其中部分研究是化石硅藻的属种描述,着重于新种的确定和命名,如四川米易更新世硅藻^[50]、江汉平原钻孔中的硅藻^[51]。90年代起,一些研究者开始运用湖泊沉积物钻孔岩芯中的化石硅藻,来恢复短时间尺度的古气候、古环境演化史,例如根据硅藻组合重建内蒙岱海400年来的湖面波动和气候变化^[52],中国学者对南极乔治王岛西湖岩芯中硅藻的研究^[53]。

综上所述,经过十几年的努力,中国的湖泊化石硅藻研究已取得了一定的成绩,已具备一定的研究基础。但与现今国际硅藻学发展水平相比,差距甚远,缺少具中国区域特色的湖泊硅藻系统分类研究;缺少中国典型湖泊水域硅藻的系统面上调查;地层剖面的测年数据精度和取样分辨率较低;古环境解释较粗略;至今还没产生一个对于某环境因子的定量指标;多学科综合环境分析较少。

总之,湖泊化石硅藻的研究,不仅在生物学、古生物学上具有重要理论意义,而且在环境科学和地质学上具有重要的应用价值。应当强调的是,近年来我国古生物界和第四纪地质学界已开始重视并加强湖泊化石硅藻研究,特别是在古湖泊学与过去全球变化的研究项目中,化石硅藻已被作为关键的环境代用指标之一。随着对环境问题的日益重视,我国的硅藻学和古湖泊学将在地球科学和环境科学研究中发挥愈来愈重要的作用。

参 考 文 献

- 1 Okeden, F., On the deep diatomaceous deposits of the mud of Milford Haven and other localities. *O. J. Microsc. Sci.*, 1855, 3, 25—30.
- 2 Gregory, W., On a post-Tertiary lacustrine sand containing diatomaceous exuviae from Glenshira near Inverary. *Q. J. Microsc. Sci.*, 1855, 3, 30—43.
- 3 Smol, J. P., Paleolimnology: an important tool for effective ecosystem management. *J. Aquatic Ecosystem Health*, 1992, 1, 49—58.
- 4 Smith, H. L., Conspectus of the families and genera of the Diatomaceae. *The Lens*, 1872, 1, 1—19.
- 5 Lange-Bertalot, H., Simonsen, R., A taxonomic revision of the Nitzschiae lanceolatae Grunow. *Bacillaria*, 1978, 1, 11—112.
- 6 Stoermer, E. F., Hakansson, H., An investigation of the morphological structure and Taxonomic relationships of *Stephanodiscus lamasi* Hustedt. *Bacillaria*, 1983, 8, 245—257.
- 7 Stoermer, E. F., Ladewski, T. B., Quantitative analysis of shape variation in type and modern populations of *Gomphonema herculeana*. In: Hakansson, H., Gerloff, J., (eds.), *Diatomaceae* ■, Beihefte zur Nova Hedwigia., Gantner Verlag,

- 1982, 73: 347—386.
- 8 Patrick, R., Reimer, C. W., The diatoms of the United States, exclusive of Alaska and Hawaii, Vol. 1. Acad. Nat. Sci. Phila., 1966.
 - 9 Bradbury, J. P., Fossil diatoms and Neogene paleolimnology. *Paleogeogr. Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 1988, 62: 299—316.
 - 10 Williams, K. M., Paleolimnology of three Jackman Sound Lakes, Southern Baffin Island, based on down-core diatom analyses. *J. Paleolimnol.*, 1990, 4: 203—217.
 - 11 Owen, R. B., Crossley, R., Spatial and temporal distribution of diatoms in sediments of Lake Malawi, Central Africa, and ecological implications. *J. Paleolimnol.*, 1992, 7: 55—71.
 - 12 Smol, J. P., Battarbee, R. W., Davis, R. B., Meriläinen, J., (eds.), Diatoms and lake acidity. Developments in hydrobiology 29. Dordrecht: Dr. W. Junk, 1986.
 - 13 Battarbee, R. W., Mason, S. J., Renberg, I., Talling, J. F., Palaeolimnology and lake acidification. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 1990, B223—445.
 - 14 Charles, D. F., Whitehead, D. P., The PIRLA project: palaeoecological investigations of recent lake acidification. *Hydrobiologia*, 1986, 143: 13—20.
 - 15 Charles, D. F., Binford, M. W., Furlong, E. T., Hites, R. A., Mitchell, M. J., et al., Palaeoecological investigation of recent lake acidification in the Adirondack Mountains, N. Y. *J. Paleolimnol.*, 1990, 3: 195—241.
 - 16 Sweets, R. R., Bienert, R. W., Crisman, T. L., Binford, M. W., Palaeoecological investigations of recent lake acidification in Northern Florida. *J. Paleolimnol.*, 1990, 4: 104—137.
 - 17 Battarbee, R. W., Observations on the recent history of Loch Ness and its drainage basin. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 1978, B291: 303—345.
 - 18 Brugam, R. B., Diatom stratigraphy of Kirchner Marsh, Minnesota. *Quat. Res.*, 1980, 13: 133—146.
 - 19 Engstrom, D. R., Swain, E. R., Kingston, J. C., Palaeolimnological record of human disturbance from Harvey's Lake, Vermont: geochemistry, pigments and diatoms. *Freshwat. Biol.*, 1985, 15: 261—188.
 - 20 Engstrom, D. R., Whitlock, C., Fritz, S. C., Wright, H. E. Jr., Recent environmental changes inferred from the sediments of small lakes in Yellowstone's northern range. *J. Paleolimnol.*, 1991, 5: 139—174.
 - 21 Kilham, P., Kilham, S. S., Natural community bioassays: Prediction of results based on untrient physiology and competition. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, 1978, 20: 68—74.
 - 22 Rawlence, D. J., The post-glacial diatom history of Splan Lake, New Brunswick. *J. Paleolimnol.*, 1988, 1: 51—60.
 - 23 Rawlence, D. J., Senior, A., A late-Glacial diatom and pigment history of Little Lake, New Brunswick with particular reference to the Younger Dryas climatic oscillation. *J. Paleolimnol.*, 1988, 1: 163—177.
 - 24 Schmidt, R., Mäusbacher, R., Müller, J., Holocene diatom flora and stratigraphy from sediment core of two Antarctic lakes (King George Island). *J. Paleolimnol.*, 1990, 3: 55—74.
 - 25 Meriläinen, J., The diatom flora and the hydrogen-ion concentration of water. *Ann. Bot. Fenn.*, 1967, 4: 51—58.
 - 26 Renberg, L., Hellberg, T., The pH history of lakes in southwesten Sweden, as calculated from the subfossil diatom flora of the sediments. *Ambio*, 1982, 11: 30—33.
 - 27 Anderson, D. S., Davis, R. B., Berge, F., Relationships between diatom assemblages in lake surface-sediments and limnological characteristics in southern Norway. In: Smol, J. P., Battarbee, R. W., Davis, R. B., Meriläinen, J., (eds.), Diatom and lake acidity. Dordrecht: Dr. W. Junk, 1986: 97—113.
 - 28 Whiting, M. C., Whitehead, D. R., Holmes, R. W., Norton, S. A., Paleolimnological reconstruction of recent acidity changes in four Sierra Nevada lakes, N. Y. *J. Paleolimnol.*, 1989, 2: 285—304.
 - 29 Findlay, D. L., Shearer, J. A., Relationships between sedimentary diatom assemblages and lake-water pH values in the Experimental Lakes Area. *J. paleolimnol.*, 1992, 7: 145—156.
 - 30 Dixit, A. S., Dixit, S. S., Evans, R. D., The relationship between sedimentary diatom assemblages and lakewater pH in 35 Quebec lakes, Canada. *J. Paleolimnol.*, 1988, 1: 23—38.

- 31 Gasse, F., East African diatoms and water pH. In: Smol, J. P., Battarbee, R. W., Davis, R. B., Merilainen, J., (eds.), *Diatoms and lake acidity*, Dordrecht: Dr. W. Junk, 1986; 149—168.
- 32 Fritz, S. C., Twentieth-century salinity and water-level fluctuations in Devils Lake, North Dakota; test of a diatom-based transfer function. *Limnol. Oceanogr.*, 1990, 35; 1771—1781.
- 33 Fritz, S. C., Juggins, S., Battarbee, R. W., Engstrom, D. R., Reconstruction of past changes in salinity and climate using a diatom-based transfer function. *Nature*, 1991, 352; 706—708.
- 34 Haberyan, K. A., The misrepresentation of the planktonic diatom assemblage in traps and sediments, southern Lake Malawi, Africa. *J. Paleolimnol.*, 1990, 3; 35—44.
- 35 Ferrante, J. G., Parker, J. L., The influence of planktonic and benthic crustaceans on Silicon cycling in Lake Michigan USA. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, 1978, 20; 324—328.
- 36 Haberyan, K. A., The role of copepod fecal pellets in the deposition of diatoms in Lake Tanganyika. *Limnol. Oceanogr.* 1985, 30; 1010—1023.
- 37 Anderson, N. J., Variability of sediment diatom assemblages in an upland, wind-stressed lake (Loch Fleet, Galloway, S. W. Scotland). *J. Paleolimnol.*, 1990, 4; 43—59.
- 38 Anderson, N. J., Spatial pattern of recent sediment and diatom accumulation in a small monomictic, eutrophic lake. *J. Paleolimnol.*, 1990, 3; 143—160.
- 39 Frey, D. G., Littoral and offshore communities of diatoms, cladocerans and dipterous larvae, and their interpretation in paleolimnology. *J. Paleolimnol.*, 1988, 1; 179—191.
- 40 Barker, P., Differential diatom dissolution in Late Quaternary sediments from Lake Manyara, Tanzania: an experimental approach. *J. Paleolimnol.*, 1992, 7; 235—251.
- 41 Swain, E. B., Measurement and interpretation of sedimentary pigments. *Freshwat. Biol.*, 1985, 15; 53—75.
- 42 Sanger, J. E., Fossil pigments in paleoecology and paleolimnology. *Paleogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 1988, 62; 343—349.
- 43 Hickman, M., Schweger, C. E., Oscillaxanthin and myxoxanthophyll in two cores from Lake Wabamun, Alberta, Canada. *J. Paleolimnol.*, 1991, 5; 127—137.
- 44 李家英、黄成彦. 陕西蓝田全新世硅藻化石. 见: 陕西蓝田新生界现场会议论文集. 北京: 科学出版社, 1966; 197—224.
- 45 李家英. 山东山旺中新世硅藻组合. 植物学报, 1982, 24(5); 456—467.
- 46 黄成彦、蔡祖仁. 浙江中新世嵊县组的硅藻植物群. 古生物学报, 1984, 23(3); 359—368.
- 47 李家英. 西藏斯潘古尔错硅藻土中的硅藻植物群. 见: 青藏高原文集(4). 北京: 地质出版社, 1983; 176—191.
- 48 李文漪、李家英、梁玉莲. 西藏曼冬错硅藻土中的孢粉和硅藻分析. 见: 中国科学院青藏高原综合考察队, 西藏第四纪地质. 北京: 科学出版社, 1983; 172—178.
- 49 黄成彦. 西藏纳木湖(错)底泥和阶地中的硅藻. 海洋地质与第四纪地质, 1986, 6(2); 105—120.
- 50 齐雨藻、杨景荣. 四川米易早更新世化石硅藻的新资料. 微体古生物学报, 1985, 2(3); 283—290.
- 51 施之新. 江汉平原 47 号钻孔中化石硅藻的新种类. 微体古生物学报, 1991, 8(4); 449—459.
- 52 马 燕、王苏民. 内蒙岱海近 400 年来的硅藻植物群及其古环境意义. 湖泊科学, 1992, 4(2); 19—24.
- 53 刘清泗、降延梅. 南极乔治王岛菲尔德斯半岛西湖柱状剖面藻类化石与环境演变. 南极研究, 1990, 2(2); 28—35.

FOSSIL DIATOM STUDIES IN PALEOLIMNOLOGY: DEVELOPMENTS SINCE THE 1980 s

Yang Shirong

(*Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Ji Lei

(*Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Abstract

The role of fossil diatom study in paleolimnology is to analogize the ancient lakes, reconstruct their lake environmental evolution histories and find out lake function and lake variation regularities based upon the distribution, ecology and environmental condition of living diatom flora in modern lakes, and upon some other organic and inorganic indicators and dating data as well. Diatom has become an important tool in paleolimnological studies due to its high abundance, well-preserved frustule, sensitivity to changing environments, wide distribution and uncomplicated identification.

Initial researches on paleoenvironments of lacustrine fossil diatoms began at the middle nineteenth century. The subject has being forged rapidly since the 1980s, including 7 major aspects as follows: (1) systematic classification of diatoms, (2) relationship between diatoms and environmental factors, (3) diatoms and lake acidification and eutrophication, (4) diatoms and climatic changes, (5) transfer function between diatoms and water chemistry, (6) influence of reworking and dissolution on diatom distribution, and (7) correlation of diatoms and sedimentary pigments.

Fossil diatom studies began rather late in China. There accumulated some research data in the past twenty years, including mainly: (1) fossil diatoms in Tertiary diatomaceous earth deposits, (2) fossil diatoms in plateau lakes in Xizang (Tibet), and (3) Quaternary lacustrine fossil diatoms and environmental changes. guice the academic level is quite lower as compared with the modern international level, The Chinese paleontological and Quaternary geological fields have to strengthen the studies on lacustrine fossil diatoms and their environmental significance.

Key Words Fossil diatom, paleolimnology, research development