

## 太湖枝角类微化石的初步研究\*

刘桂民<sup>1,2</sup>, 陈非洲<sup>1</sup>, 刘正文<sup>1\*\*</sup>

(1: 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008)

(2: 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 湖泊沉积物中的枝角类微化石能够在一定程度上反映历史时期水体中的枝角类种群动态, 从而具有重要的环境指示意义. 通过对太湖(马山附近)沉积物中枝角类微化石的初步研究, 尝试反演了所研究湖区近百年来水体环境的演化过程, 并对枝角类种群动态的驱动因素进行了分析. 从沉积物中共鉴定出 10 属 14 种枝角类, 其中象鼻溞属占绝对优势, 相对丰度平均值高达 95.4%, 尖额溞属次之, 为 4.2%; 盘肠溞属以及其他枝角类不到 1%. 研究结果显示, 随沉积深度自下而上变化, 喜好富营养水体环境的 *B. longirostris cornuta* 和 *A. rectangular* 的丰度逐渐增加, 而偏贫—中营养环境的 *A. intermedia* 的丰度则逐渐下降, 表明水体营养水平处于逐渐上升的过程, 其中表层 3cm 以上枝角类绝对丰度的急剧下降和 *A. intermedia* 的完全消失表明, 20 世纪 80 年代末期以来水体急剧富营养化; 另外枝角类敞水区种类与沿岸带种类的数量比(P/L)随沉积深度的变化也在一定程度上反映了太湖水深/水面积的变化以及 20 世纪 80 年代末期以来的水体富营养化状况. 研究结果同时也表明, 20 世纪 60 年代以前, 自然环境条件为影响枝角类种群动态的主控因素, 此后人类活动的影响越来越明显并最终成为枝角类种群动态的决定性因素.

**关键词:** 太湖; 枝角类; 微化石; 古湖沼学

## Preliminary study on cladoceran microfossils in the sediments of Lake Taihu

LIU Guimin<sup>1,2</sup>, CHEN Feizhou<sup>1</sup>, LIU Zhengwen<sup>1</sup>

(1: *State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P.R.China*)

(2: *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P.R.China*)

**Abstract:** Cladoceran microfossils can reflect the historical population dynamics and are an important indicator of paleoenvironments. The present study was aimed to analyze the historical variation of cladoceran assemblage and abundance, and its driving factors by examining cladoceran microfossil of the sediments in western Lake Taihu (near Mashan). A total of 14 cladoceran species belonging to 10 genera were identified. The most abundant species were planktonic *Bosmina* spp. with an average relative abundance of 95.4%; the second were *Alona* spp., with average abundance of 4.2%; *Chydorus* spp. and all the other species were less than 1%. The increasing tendency of nutrient levels of Lake Taihu was showed by the vertical changes of cladocera assemblage and abundance of the sediments. *B. longirostris cornuta* and *A. rectangular*, which prefer eutrophic conditions, showed an increasing tendency from bottom to upper layer, while *A. intermedia*, which commonly appeared in lower trophic, showed a decreasing tendency. The dramatic decrease of cladocera absolute abundance and the disappearance of *A. intermedia* at the surface 3cm sediments probably indicated the rapid nutrients loading since late the 1980s. In addition, the historically changes of water level/area and the increasing trophic states after the late the 1980s were represented by the ratio of planktonic to littoral species (P/L). Our results showed that natural conditions were the major factors which affected the population dynamics of cladocera before the 1960s, the human activities strengthened since the 1960s, and finally played the determinant role in the population dynamics of cladocera in Lake Taihu.

**Keywords:** Lake Taihu; cladoceran; microfossils; paleolimnology

\* 中国科学院知识创新项目(KZCX2-YW-419)资助. 2007-05-29 收稿; 2007-07-17 收修改稿. 刘桂民, 女, 1977 年生, 博士研究生; E-mail: gmlu@niglas.ac.cn.

\*\* 通讯作者; E-mail: zliu@niglas.ac.cn.

枝角类是淡水浮游动物的重要组成部分, 其种类丰富、分布广泛且各具特定生境, 营养盐、食物、水深、沉水植物、鱼类等环境条件的改变往往导致枝角类种群动态的变化<sup>[1]</sup>. 枝角类在生长过程中要经历数次脱壳, 这些脱落的壳瓣及死亡的个体会缓慢沉降, 除了一些外壳较脆弱的种类(如溞属、网纹溞属等), 相当部分枝角类(盘肠溞科、象鼻溞科)的几丁质外壳都能在沉积物中以壳瓣、头甲、后腹部、尾爪、下颚等分离的残体形式得到保存, 这些残体能在一定程度上反映同期水体中的枝角类种类组成及丰度; 溞属、网纹溞属的外壳虽然不易保存, 但其休眠卵却能够得到一定程度的保存, 并可用来反映同期水体中其种群动态的量级变化<sup>[2-4]</sup>.

古湖沼学通过对湖泊沉积物进行研究, 获得不同历史时期沉积物的物理、化学及生物信息, 并对这些信息进行分析解释, 间接获得湖泊变化的历史过程, 从而为生态系统演化的研究提供便利<sup>[5]</sup>. 目前, 国际上古湖沼学已在硅藻、摇蚊、色素、介形类的研究方面取得了大量成果, 特别转换函数的建立, 使得这些生物指标可以用来定量地重建湖泊演化史<sup>[1,6-8]</sup>. 作为古湖沼学的研究指标之一, 枝角类微化石的研究起步较晚, 但近二十多年来的发展却相当迅速<sup>[4,9]</sup>. 国内在这方面的研究很少, 仅朱立平等<sup>[10]</sup>对藏南沉错的沉积物进行过相关研究.

太湖是我国第三大淡水湖, 近几十年来, 流域内日益频繁的人类活动使太湖水体生态系统受到严重污染, 富营养化状况已经变得非常严重, 夏季频繁发生蓝藻水华. 目前, 针对太湖水体富营养化问题已经开展了很多工作, 包括对水体富营养化状况及产生机理的研究. 枝角类因其在水生态系统食物链中的重要地位, 成为国际上湖泊生态系统演化研究中的关注热点, 但我国太湖水体中生物指标的常规调查仅始于 20 世纪 90 年代, 之前的调查又不够系统和全面, 这对认识太湖枝角类对水体环境变化的响应过程来说远远不够, 枝角类微化石则为认识这一过程提供了可能. 本文利用沉积物中的枝角类微化石, 对西太湖马山附近湖区枝角类近百年来的种群动态及其驱动因素进行初步分析, 并利用相关文献对研究结果进行验证.

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

作为大型浅水湖泊, 太湖的沉积物再悬浮比较剧烈, 不同位置的沉积动力也不尽相同, 因而有些地点的测年结果往往不够理想<sup>[11-12]</sup>, 因此本研究选取经研究<sup>[13]</sup>证明测年结果相对较好的马山附近的采样点(31°22'55.7"N; 120°07'56.0"E)(图 1)进行研究. 为便于描述, 下文简称该采样点所在湖区为马山湾. 2006 年 12 月利用重力采样器在马山湾采集柱状沉积样(柱长 25cm), 样品密封、竖立带回实验室, 20cm 以上间隔 0.5cm、20cm 以下间隔 1cm 进行分样.

### 1.2 样品处理与分析

精确称取约 5g(湿重)经充分混匀的样品用于枝角类分析, 同时称取一定量的样品用于含水率测定. 分析样的处理参考 Frey(1986)的方法进行: 首先将样品置入备有 200ml 10% KOH 溶液的烧杯中, 再利用水浴锅对烧杯加热(60℃, 1h)以对样品解絮凝; 解絮凝后的样品用 80μm 筛网过滤, 残余在筛网上的物质用蒸馏水收集到带有刻度的离心管中, 加入一滴甲醛并将样品定容至 10ml. 枝角类的鉴别、计数利用光学显微镜进行, 分析前将样品充分摇匀, 取 100μl 悬浮液置于计数框, 在显微镜下鉴别、计数. 枝角类的鉴别主要依据蒋曼治和堵南山的《中国动物志: 淡水枝角类》<sup>[14]</sup>进行. 由于枝角类微化石均以分离的形式存在, 因此对某一种/属的计数要根据其不同的残体部位分别计数, 最终以此种/属数量最丰富的残体部位的数量作为计数

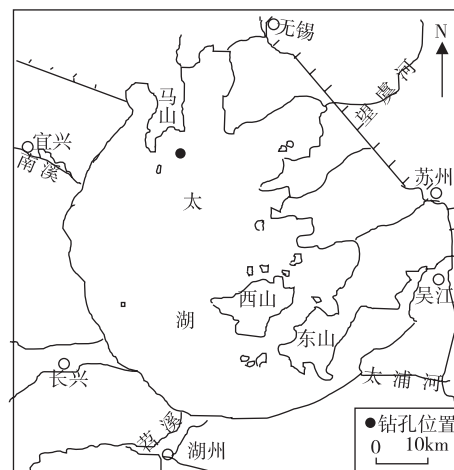


图 1 采样点地理位置

Fig.1 Location of the coring site

结果, 每个样品总的个体计数至少要达到 100 以上. 枝角类丰度换算成绝对丰度(每克干重沉积物中的枝角类数量)和相对丰度(某一种枝角类占有所有枝角类总数的比例).

## 2 结果与讨论

### 2.1 枝角类微化石的种类组成及丰度

鉴别共发现 10 属 14 种枝角类, 其中根据卵鞍鉴别出的有网纹蚤(*Ceriodaphnia* spp.)、短钝蚤(*Daphnia obtuse*)、蚤(*Daphnia* spp.)、裸腹蚤(*Moina* spp.); 以壳瓣及头甲形式鉴定出的有钩角型长额象鼻蚤(*Bosmina longirostris cornuta*)(象鼻蚤的分种鉴别相对较难, 仅能将钩角型长额象鼻蚤鉴别出来)、方形尖额蚤(*Alona quadrangularis*)、中型尖额蚤(*Alona intermedia*)、肋形尖额蚤(*Alona costata*)、矩形尖额蚤(*Alona rectangula*)、圆形盘肠蚤(*Chydorus sphaericus*)、吻状异尖额蚤(*Disparalona rostrata*)、直额弯尾蚤(*Camptocercus rectirostris*)、粗刺大尾蚤(*Leydigia leydigii*), 另外还发现了异形单眼蚤(*Monospilis dispar*)的头甲和粗刺大尾蚤的后腹部. 图 2 显示了沉积物中的一些枝角类微化石图片.

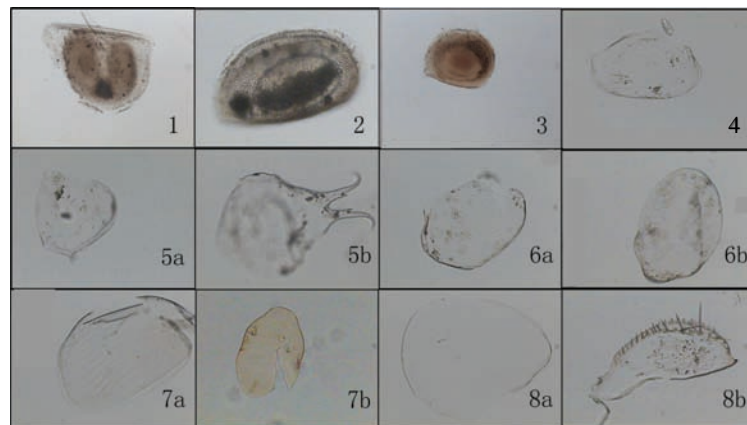


图 2 太湖马山湾沉积物中的枝角类微化石

(1-3 分别为短钝蚤、裸腹蚤、网纹蚤卵鞍; 4 吻状异尖额蚤壳瓣; 5a、b 分别为钩角型长额象鼻蚤的壳瓣、头甲及第一触角; 6a、b 分别为圆形盘肠蚤的壳瓣和头甲; 7a、b 分别为矩形尖额蚤的壳瓣和头甲; 8a、b 分别为大尾蚤的壳瓣和后腹部)

Fig.2 Photos of different cladocera in the sediment of Lake Taihu (near Mashan)

结果显示, 象鼻蚤属是马山湾沉积物中枝角类的优势属种, 其相对丰度平均高达 95.4%; 尖额蚤属次之, 相对丰度均值为 4.2%; 盘肠蚤属相对丰度更低, 平均不到 1%. 其它如单眼蚤属、网纹蚤属、裸腹蚤属、异尖额蚤属等出现的随机性很强, 且数量相当低. 出现这一结果的原因除了跟不同枝角类的保存程度有关外, 还跟采样点的位置及不同属种枝角类的生活习性有关. 蚤属、象鼻蚤属和网纹蚤属主要滤食水体中的小型藻类、细菌和有机碎屑, 在敞水区最为丰富; 盘肠蚤科枝角类多为沿岸种类, 据其摄食、栖息的生境特点又进一步分为底栖生活种类和沉水植物生活种类, 如盘肠蚤属、顶冠蚤属、宽尾蚤属、笔纹蚤属及一些尖额蚤属枝角类习居于有沉水植物的生活环境<sup>[15]</sup>, 而大尾蚤属、泥蚤属及尖额蚤属中的大多数种类(如矩形尖额蚤)主要营底栖生活, 这些沿岸种类主要刮食水草、沉积物或洞穴表面的附着藻类、细菌和碎屑<sup>[2-3,16]</sup>. 本研究的采样点位于敞水区, 所以营浮游生活且保存较好的象鼻蚤数量比较丰富, 而营底栖、水草生境生活的沿岸种类和壳质脆弱的蚤属、网纹蚤属种类则非常稀少.

### 2.2 枝角类的垂直变化及其古湖沼学意义

马山湾沉积物中的枝角类以象鼻蚤为主, 尖额蚤、盘肠蚤次之, 其它属种枝角类出现几率太低不具统计意义(图 3). 沉积年代依据同一采样点已发表文献<sup>[13]</sup>进行确定 (沉积速率大致为 1.7mm/a). 根据枝角类绝

对丰度和相对丰度的变化状况将马山湾枝角类的演化过程划分为四个阶段:

第一阶段(25-16.5cm): 据沉积速率推算大概为 20 世纪初期以前. 这一阶段占绝对优势的 *Bosmina* spp.丰度在整个沉积柱中最高, *B. longirostris cornuta* 丰度仅次于 *Bosmina* spp., 但从纵向上比较则与 *A. rectangula* 一起处于最低值; *A. intermedia* 和 *C. sphaericus* 的丰度虽然很低, 但在此阶段均达到整个沉积柱中的峰值; 敞水区种类与沿岸带种类的数量比(P/L)在这一阶段相对较低.

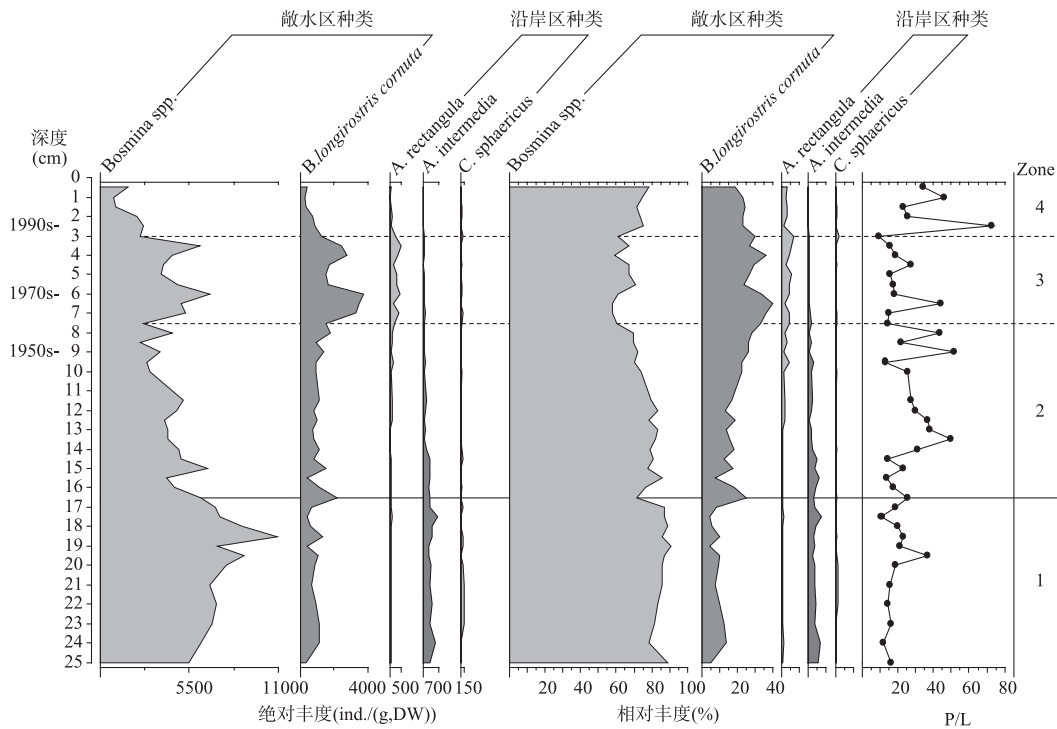


图3 马山湾沉积物中枝角类丰度随深度的变化状况

Fig.3 Changes in abundance of cladocera against depth in the sediment of Lake Taihu (near Mashan)

不同属种枝角类有不同的总磷适宜度和耐受范围<sup>[2,17]</sup>, 在耐受范围内其数量比较丰富, 但超过了这个耐受范围, 营养盐将对枝角类产生生理胁迫, 因而当营养盐浓度持续升高接近甚至超过某些枝角类的耐受上限时, 这些枝角类的数量便会迅速下降, 因此根据沉积物中枝角类的种群构成及丰度变化可以反推历史时期水体的营养水平. *B. longirostris cornuta* 和 *A. rectangula* 是偏好富营养水体的枝角类, *A. intermedia* 则多出现在贫-中营养的水体, 因此这一阶段马山湾水体为贫-中营养水平.

*C. sphaericus* 习居于沉水植物生境, 但在马山湾沉积物中其数量甚少, 而且几乎没有发现其它与沉水植物生境相关的枝角类, 因而可以推断马山湾采样点附近可能一直以来都比较缺乏沉水植物, 即使有, 也仅存在于第一阶段以前.

枝角类敞水区种类(Planktonic)与沿岸带种类(Littoral)的数量比(P/L)可用来反映湖泊水深或水面积的变化<sup>[18-20]</sup>, 因为水深或水面积的变化往往会改变湖泊敞水带与沿岸区的面积, 从而改变枝角类敞水区种类与沿岸带种类的相对比例, 同时, 水深的改变还会改变水生植物生长的光温条件或沉积物-水界面的理化性质, 从而影响沿岸种类的原生境及其食物(如附着藻类或细菌)的生物量, 继而改变枝角类的种类组成及丰度. 但实际上除水深/水面积以外, 水体富营养化和水生植物覆盖度的变化也会改变枝角类敞水区种类与沿岸带种类的数量比<sup>[21]</sup>, 因为后二者的变化同样会对枝角类生境、食物等条件产生影响, 因此这个指标的正确解读需要结合其它指标进行. 根据前文推断, 此阶段水体营养水平较低, 沉水植物也

很缺乏, 因此较低的P/L值表明此阶段水深较浅或水面积较小. 由于自然条件下湖泊的水深或水面积变化多取决于流域降水量, 因而此阶段流域降水量可能比较低.

第二阶段(16.5–7.5cm): 大致相当于 20 世纪初至 20 世纪 60 年代. 这一阶段 *Bosmina* spp. 的丰度较第一阶段低, 且逐渐下降, 同样呈现这一趋势的还有 *A. intermedia*; 而偏富营养水体环境的 *B. longirostris cornuta* 和 *A. rectangula* 的丰度则同前两者相反逐渐上升; *C. sphaericus* 从此阶段开始丰度一直很低; 敞水区与沿岸带枝角类的比值在此阶段明显升高.

富营养种类的逐渐增加和偏贫—中营养种类的逐渐减少说明此阶段水体营养水平逐渐升高, 约至中营养水平; 另外, 敞水区与沿岸带枝角类的比值(P/L)逐渐升高, 说明此阶段水深或水面积处于逐渐增大的过程, 这与文献所述一致<sup>[22]</sup>. 由于此阶段人类活动仍然较弱, 所以降水仍然是水深/水面积变化的主要原因, 由此推断这一阶段降水总体呈现逐渐增加的趋势.

第三阶段(7.5–3cm): 对应于 20 世纪 60 年代至 80 年代末期. 这一阶段 *B. longirostris cornuta* 和 *A. rectangula* 的丰度均达到峰值; *Bosmina* spp. 虽然数量仍占绝对优势, 但相对丰度明显下降至最低值; *A. intermedia* 的丰度继续下降; 敞水区与沿岸带枝角类的比值也较第二阶段下降.

与第二阶段相比, 这一阶段富营养种类继续增加而偏贫—中营养种类继续减少, 表明此阶段水体营养盐浓度继续升高, 约至中富营养水平; P/L 的下降表明水深或水面积处于逐渐减小的过程. 资料<sup>[23]</sup>显示, 这一阶段流域内的人类活动越来越频繁, 围湖造田、修建堤坝、围栏养鱼, 同时流域内人口急剧增加、工农业废水和生活污水大量排入太湖水体, 使得太湖遭到严重污染, 水体中总氮、总磷、COD<sub>Mn</sub> 等主要环境指标的浓度逐年增高, 这与枝角类微化石所反映出的水体营养水平的变化一致. 由于与前一阶段相比太湖降水量并没有发生显著变化<sup>[22,24]</sup>, 因此此阶段太湖水面积的缩小主要归因于修建堤坝、围湖造田等人类活动的影响.

第四阶段(3–0cm): 对应于 20 世纪 80 年代末期至今. 此阶段所有枝角类的绝对丰度均急剧降至最低值, 从相对丰度看, *Bosmina* spp. 所占比例明显回升, *B. longirostris cornuta* 和 *A. rectangula* 所占比例略低于第二阶段但仍然较高, *A. intermedia* 则几乎消失. 此外, 敞水区枝角类与沿岸带枝角类的比值开始回升并达到峰值.

本阶段 *B. longirostris cornuta* 和 *A. rectangula* 仍然较高的相对比例以及偏贫—中营养种类 *A. intermedia* 的消失表明水体营养水平继续升高. *Bosmina* spp. 由于未鉴定到种, 所以对其营养盐适宜范围不清楚, 但从第一阶段至第三阶段的情况看, 与 *A. intermedia* 的变化趋势一致, 说明其也为喜好贫—中营养的种类, 但本阶段其丰度却增大, 可能原因之一就是 *Bosmina* spp. 包括了至少两个种, 其中一种对营养盐的耐受上限比 *B. longirostris cornuta* 更高, 这有待于今后的进一步分析.

图 3 显示此阶段枝角类的绝对丰度急剧下降, 这与实际调查结果一致<sup>[23]</sup>, 也表明了营养盐浓度的迅速增加. 如前所述, 在适宜的营养盐范围内, 枝角类数量会比较丰富, 但超过耐受范围时, 营养盐就会对枝角类产生生理胁迫, 不仅如此, 水体富营养化往往还伴随着浮游植物种类和生物量的变化, 即通过改变食物的质量和数量而间接作用于枝角类. Connord<sup>[25]</sup>分别以绿藻门纤维藻(*Ankistrodesmus*)、硅藻门小环藻(*Cyclotella*)和蓝藻门铜绿微囊藻(*Microcystis*)为象鼻溞的食物, 研究了不同藻的不同密度对象鼻溞生长繁殖的影响, 结果发现, 绿藻门纤维藻和硅藻门小环藻的密度越大象鼻溞的生存时间越长、繁殖能力越强, 而蓝藻门铜绿微囊藻则对象鼻溞存活时间及繁殖能力有着相反的影响. 调查表明<sup>[26-27]</sup>, 1987 年西太湖浮游植物优势种由 1960–1980 年间的硅藻和蓝藻演替为蓝藻和隐藻, 至 1992 年蓝藻则成为唯一的优势类群, 同时随太湖水体的持续富营养化, 枝角类的种类和数量均明显下降. 这一调查结果首先说明太湖枝角类种类和数量的下降与浮游植物种类与生物量的变化紧密联系, 另外此调查显示的枝角类种类和数量的变化结果也与本研究沉积物中枝角类的变化趋势一致. 由此推断, 水体富营养化是此阶段沉积物中枝角类绝对丰度急剧减少的主要原因之一. 枝角类绝对丰度的急剧减少可能还与另外一个因素有关, 即湖泊沉积通量的迅速增加. 研究<sup>[28]</sup>表明, 围垦、流域内土地利用方式的改变等人类活动能在很大程度上改变湖泊的沉积通量, 近二十多年来, 太湖流域日益频繁的人类活动如围垦和城市化的迅速发展必然使流域内进入湖体的泥沙等沉积物来源大量增加, 从而对沉积物中枝角类的绝对丰度产生了一定的稀释作

用, 但这有待于精确的测年结果进行验证。

此阶段的 P/L 峰值可能是水体急剧富营养化和降水增加的共同结果。首先, 此阶段人类活动对太湖的污染更趋严重<sup>[23]</sup>, 污染物质和浮游植物的大量增加使得水体中的悬浮物浓度迅速升高、水体透明度下降、水中溶氧浓度降低, 大大增加了底栖枝角类的生存压力, 从而使得 P/L 升高。另外, 资料<sup>[24]</sup>记载, 1949 年至 20 世纪末, 太湖流域共发生水灾 18 次, 有 15 次太湖水位超过 4m, 其中 1989 年至 1999 年 10 年中就有 6 年太湖水位超过 4m, 1999 更达到历史最高的 5.08m, 表明此阶段流域降水量非常丰富, 也导致 P/L 升高。

### 3 结论

(1) 影响太湖枝角类种群动态变化的因素很多, 但不同阶段主导因素不同。20 世纪 60 年代以前, 自然环境条件的变化是主导因素; 此后, 人类活动逐渐加强并越来越深刻地影响着枝角类的种群动态, 80 年代末期以来, 进一步加剧的人类活动导致了太湖水体的急剧富营养化, 使得枝角类的丰度急剧下降至最低值。

(2) 太湖沉积物中枝角类微化石的种群动态变化能够较好地反映同期水体中枝角类的动态变化, 特别表层几厘米沉积物中的枝角类微化石变化状况与近几十年来的浮游动物调查结果比较一致, 说明根据沉积物中的枝角类微化石研究太湖历史上的枝角类种群动态是可行的; 本研究同时也得到了太湖水体营养水平和水深/水面积的历史变化信息, 并在一定程度上得到相关资料的验证, 表明太湖沉积物中的枝角类微化石可以较好地反映环境变化, 因而可在太湖演化历史的研究中发挥重要作用。

致谢: 董旭辉博士对本文的写作提出了宝贵建议, 在此表示感谢。

### 4 参考文献

- [1] Lotter AF, Birks HJB, Hofman W *et al.* Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. I. Climate. *Journal of Paleolimnology*, 1997, **18**: 395-420.
- [2] Frey DG. Cladocera analysis. In: Berglund BE ed. *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*. New York: John Wiley & sons, 1986: 667-692.
- [3] Whiteside MC, Swindoll MR. Guidelines and limitations to cladoceran paleoecological interpretations. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 1988, **62**: 405-412.
- [4] Jeppesen E, Leacitt P, Meester LD *et al.* Functional ecology and palaeolimnology: using cladoceran remains to reconstruct anthropogenic impact. *TRENDS in Ecology & Evolution*, 2001, **16**: 191-198.
- [5] Smol JP. Paleolimnology: an important tool for effective ecosystem management. *Journal of Aquatic Ecosystem Health*, 1992, **1**: 49-58.
- [6] De Deckker P, Forester RM. The use of ostracodes to reconstruct continental palaeoenvironmental records. In: De Deckker P, Colin JP & Peypouquet JP eds. *Ostracoda in the earth sciences*, 1988: 175-199.
- [7] Bigler C, Hall RI. Diatoms as indicators of climatic and limnological change in Swedish Lapland: a 100-lake calibration set and its validation for paleoecological reconstructions. *Journal of Paleolimnology*, 2002, **27**: 97-115.
- [8] Leavitt PR, Hodgson DA. Sedimentary pigments. In: Smol JP, Birks HJB & Last WM eds. *Tracking environmental change using lake sediments. Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2001: 295-325.
- [9] Bos DG, Cumming BF. Sedimentary cladoceran remains and their relationship to nutrients and other limnological variables in 53 lakes from British Columbia, Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2003, **60**: 1177-1189.
- [10] 朱立平, 王君波, Anton Brancelj. 藏南沉错沉积物水蚤残体组合对环境变化的响应. *科学通报*, 2005, **50**(14): 1490-1497.
- [11] 袁旭音, 陈 骏, 季峻峰等. 太湖现代沉积物的物质组成和形成条件分析. *南京大学学报(自然科学版)*, 2002, **38**(6): 756-765.

- [12] 陆敏, 张卫国, 师育新等. 太湖北部沉积物金属和营养元素的垂向变化及其影响因素. 湖泊科学, 2003, **15**(3): 213-220.
- [13] 刘恩峰, 沈吉, 朱育新. 西太湖沉积物污染的地球化学记录及对比研究. 地理科学, 2005, **25**(1): 102-107.
- [14] 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志: 淡水枝角类. 北京: 科学出版社, 1979: 101-273.
- [15] Jeppesen E, Madsen EA, Jensen JP *et al.* Reconstructing the past density of planktivorous fish and trophic structure from sedimentary zooplankton fossils: a surface sediment calibration data set from shallow lake. *Freshwater Biology*, 1996, **36**: 115-127.
- [16] Brodersen KP, Whiteside MC, Lindegaard C. Reconstruction of trophic state in Danish lakes using subfossil chydorid (Cladocera) assemblages. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1998, **55**: 1093-1103.
- [17] Hofmann W. Empirical relationships between cladoceran fauna and trophic state in thirteen northern German lakes: analysis of surficial sediments. *Hydrobiologia*, 1996, **318**: 195-201.
- [18] Hofmann W. Cladocerans and chironomids as indicators of lake level changes in north temperate lakes. *Journal of Paleolimnology*, 1998, **19**: 55-62.
- [19] Bos DG, Cumming BF, Smol JP. Cladocera and anostraca from the Interior Plateau of British Columbia, Canada, as paleolimnological indicators of salinity and lake level. *Hydrobiologia*, 1999, **392**: 129-141.
- [20] Bigler C, Heiri O, Krskova R *et al.* Distribution of diatoms, chironomids and cladocera in surface sediments of thirty mountain lakes in south-eastern Switzerland. *Aquatic Sciences*, 2006, **68**: 154-171.
- [21] Jeppesen E, Leavitt P, De Meester L *et al.* Functional ecology and palaeolimnology: using cladoceran remains to reconstruct antropogenic impact. *Trends in Ecology & Evolution*, 2001, **16**(4): 191-198.
- [22] 孙顺才, 赵锐, 毛锐等. 1991年太湖地区洪涝灾害评估与人类活动的影响. 湖泊科学, 1993, **5**(2): 108-117.
- [23] 范成新. 太湖主要营养物质与浮游生物关系研究. 见: 蔡启铭主编. 太湖环境生态研究(一). 北京: 气象出版社, 1998: 134-141.
- [24] 陈俊才. 太湖的水患与水治. 古今农业, 2004, (4): 55-64.
- [25] Connor TE. Temperature and food as factors affecting the population ecology of *Bosmina longirostris* (O. F. Müller, 1785) and *Diaphanosoma brachyurum* (Liéven, 1848) [A thesis for the degree of Doctor of Philosophy]. Geog Mason University, 2005: 33-42.
- [26] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 太湖综合调查初步报告. 北京: 科学出版社, 1965: 35-41.
- [27] 范成新, 黄漪平. 太湖营养元素的变化与浮游生物的演变. 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊. 北京: 科学出版社, 1992, **9**: 37-47.
- [28] 刘恩峰, 羊向东, 沈吉等. 近百年来湖北太白山湖沉积通量变化与流域降水量和人类活动的关系. 湖泊科学, 2007, **19**(4): 407-412.