

近150年来湖北太白湖摇蚊记录与湖泊营养演化*

张恩楼^① 曹艳敏^{①②} 刘恩峰^① 羊向东^① 沈吉^①

(^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 通过太白湖北部湖区沉积岩芯中摇蚊亚化石分析,结合²¹⁰Pb和¹³⁷Cs年代测定和降趋势对应分析(DCA),研究了太白湖近150年来摇蚊种属组合变化和湖泊营养演化过程。结果表明:20世纪中期(1950年左右),摇蚊种群中与大型水生植物关系密切的 *Paratanytarsus*, *Paratanytarsus penicillatus*-type, *Polypedilum nubeculosum*-type 和 *Dicrotendipes nervosus*-type 等属种迅速减少或消失,而耐营养的属种 *Chironomus plumosus*-type, *Microchironomus tabarui*, *Procladius*, *Prosilocerus akamusi* 和 *Tanytus* 增多,表明大型水生植物减少,湖泊富营养化开始。20世纪90年代以来, *Chironomus plumosus*-type 和 *Microchironomus tabarui* 等富营养种的比例增加反映了营养水平的进一步提高,并呈现加重趋势。摇蚊组合变化反映的太白湖营养水平的增加与流域人类活动影响密切相关,早期湖泊富营养化响应流域土壤侵蚀及湖泊水产养殖,而1990年以来湖泊富营养化的加重则与化肥的大量使用、人类活动的进一步加强及流域内工业废水污染物的开始排放有关。

关键词 太白湖 摇蚊亚化石 DCA分析 湖泊富营养化

中图分类号 P343.5 **文献标识码** A

长江中下游地区浅水湖泊众多,受强烈人类活动干扰,湖泊富营养化与藻类暴发问题严重^[1]。近年来,众多湖泊治理措施在长江中下游地区典型湖泊展开,其治理目标的确立主要基于营养本底水平(富营养化发生之前湖泊稳定营养背景值)。湖泊营养本底的确立可以通过区域对比、模型计算或古湖沼学等方法进行研究,对于流域系统变化较为剧烈的湖泊而言,应用古湖沼的研究方法进行营养本底的恢复比其他方法更可靠^[2]。在古湖沼学研究中,以水生生物化石为对象的湖泊古生态研究日益受到重视^[3],湖泊水生生物如摇蚊、硅藻等由于发育有难以降解和溶蚀的几丁质、硅质等壳体和骨骼成分,可以保存在沉积物中^[4]。生物指标作为古生态环境研究的重要手段,提供了过去长期变化的再现,为解决当今面临的关键生态问题提供参照。摇蚊幼虫亚化石是近年来古湖沼研究领域发展起来的一种微体古生物指标,20世纪90年代以来,摇蚊幼虫亚化石记录开始被普遍应用于古气候古环境的定量重建,包括温度、盐度、营养盐等指标。这主要归功于一系列表层样品数据库的建立,摇蚊属种的分布与气候、盐度、湖泊生产力等关系的研究以及转换

函数的发展^[5-9]。在我国东部长江中下游地区,典型湖泊摇蚊-湖水总磷关系已经得以研究^[10],并被成功用于重建近百年来武山湖湖水总磷的演化过程^[11]。

湖北省东部的太白湖位于长江中游,拥有一个复杂且经历高度改造的水文系统。由于强烈人类活动干扰,太白湖及其流域受农业和水产养殖影响较大,水体污染严重。太白湖流域人类活动历史悠久,然而该湖营养演化的历史研究相对较少,集中于探讨硅藻组合的变化^[12-14]。本研究力图通过湖泊沉积岩芯中摇蚊亚化石组合的研究,探讨湖泊营养演化的历史并印证硅藻研究结果。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

太白湖(29°56'~30°01'N,115°46'~115°50'E)位于湖北省东部(图1),湖泊面积约25km²,平均水深3.2m,集水区面积960km²^[15],太白湖流域北部为大别山南麓伸延的丘陵地带,南部为广阔的长江泛滥平原。湖水依靠地表径流和湖面降水补给,除接纳上游的荆竹河、考田河等来水外,汛期还西承武山湖

第一作者简介:张恩楼 男 35岁 副研究员 自然地理学专业 E-mail:elzhang@niglas.ac.cn

*中国科学院知识创新工程重要方向项目(批准号:KZCX2-YW-319)和国家重点基础研究发展规划项目(973项目)(批准号:2008CB418103)资助

来水,一般情况下湖水处于缓流状态,湖水大部分从南部的梅济港泄入龙感湖后排入长江^[15]。20 世纪 30 年代前后湖泊面积约 69.2 km²,由于围湖造田,湖泊面积急剧缩小,至 60 年代湖泊面积缩小为 44 km²,现有面积为 25.1 km²^[15,16]。20 世纪 80 年代前,该湖水草繁盛,由于水产养殖力度加大,其后水生植被减少,目前少量水生植被局限在北部湖区^[17]。近年来,由于农业活动和水产养殖的影响,该湖已经发生富营养化,根据 2001~2003 年的水质调查,该湖年均总磷为 125 μg/L^[12]。

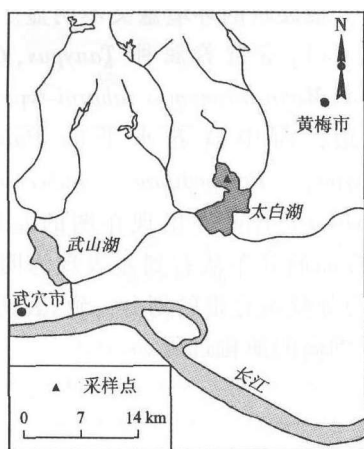


图 1 太白湖钻孔位置图

Fig. 1 Map of Taibai Lake showing the sediment core

1.2 样品采集

2007 年 4 月,利用重力采样器于太白湖北部湖区 1.5 m 水深处采集了柱状沉积岩芯(图 1),所获得的沉积岩芯水土界面清晰,表层沉积物未受扰动,现场分别以 0.5 cm 间隔分样,样品密封于塑料袋内带回实验室在 4℃ 冰箱中冷藏以备分析。

1.3 年代测定

太白湖沉积物样品中 ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra 以及 ¹³⁷Cs 活度采用美国 EG & G Ortec 公司生产的高纯锗井型探测器 (HPGe GWL2120215) 测定。¹³⁷Cs 和 ²²⁶Ra 标准样品由中国原子能科学研究院提供,²¹⁰Pb 标准样品由英国利物浦大学做比对标准,测试误差小于 10%。

1.4 摇蚊亚化石分析

沉积物中摇蚊亚化石分析使用标准方法进行^[18],首先将样品加入 10% 的氢氧化钾溶液中,在 75℃ 加热 15 分钟后,过 212 μm 和 90 μm 的筛,后将剩余样品转移到体视显微镜下,在 25 倍下用镊子将

摇蚊头壳挑出。将所有挑出的头壳用 Hydro-Matrix[®] 封片,头壳封片后在 100~400 倍生物显微镜下进行鉴定,一般可鉴定到属级水平,在某些情况下可鉴定到种。将完整的头壳计为一个,将半个以上的不完整的头壳计为半个,不足一半的不统计。沉积样品中摇蚊幼虫亚化石统计数至少达 50 个壳体。摇蚊幼虫属种鉴定主要依据文献资料^[18-21]。摇蚊百分比图谱使用 Tilia-Graph 程序^[22]完成。摇蚊属种组合带划分基于 CONISS 聚类分析^[23]。

1.5 数理统计分析

降趋势对应分析 (Detrended Correspondence Analysis, 简称 DCA) 被用于摇蚊幼虫组合变化的潜在环境意义^[24]。对摇蚊数据,选择在两个以上的样品中出现,含量至少在一个样品中超过 2% 的常见属种用于数值分析。最后的数据包含了 74 个样点和 31 个主要摇蚊属种类型。在 DCA 分析中稀有属种被降权处理,以减少对结果造成的偏差,DCA 分析应用 CANOCO version 4.5 软件完成^[25]。

2 结果

2.1 年代确立

太白湖采样点沉积岩芯年代和沉积速率变化的详细研究成果已发表^[26],太白湖沉积岩芯中 ²¹⁰Pb 和 ¹³⁷Cs 活度测试分析结果表明 ¹³⁷Cs 1963 年蓄积峰出现在 10.75 cm 处(活度为 19.3 ± 3.5 Bq/kg),²¹⁰Pb_{ex} 活度随深度增加呈指数降低,指示了较为稳定的沉积特征(图 2)。采用 CIC 和 CRS 模式计算得到的

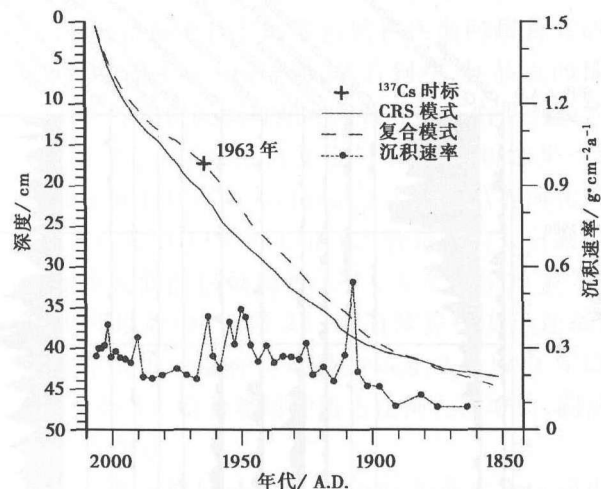


图 2 太白湖沉积岩芯年代及沉积通量图

Fig. 2 Age-depth plots and dry mass accumulation rate of Taibai Lake sediment core

沉积岩芯 ^{210}Pb 年代结果均偏离 ^{137}Cs 时标,反映了由于流域人类活动强度的变化,导致了历史时期沉积速率发生了较大的变化。因此,复合模式 (composite model) 方法^[27]被选择用于该钻孔年代的计算,根据 ^{137}Cs 的 1963 年时标深度,把沉积岩芯分为上下两段,依据 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 活度变化,分别采用不同公式进行沉积岩芯年代计算。

2.2 摇蚊组合

太白湖钻孔中共鉴定出 47 个摇蚊属种,根据摇蚊属种变化特征可划分为 3 个组合带,各个组合带变化特征如下(图 3):

带 1 (43 ~ 25cm, 1860 ~ 1950 年) 以 *Microchironomus*, *Procladius*, *Paratanytarsus*, *Paratanytarsus penicillatus*-type, *Polypedilum nubeculosum*-type, *Cricotopus sylvestris*-type, *Cryptochironomus* 和 *Dicrotendipes nervosus*-type 为主。

带 2 (25 ~ 12cm, 1950 ~ 1990 年) *Microchironomus* 含量逐渐减少, *Paratanytarsus*, *Paratanytarsus penicillatus*-type, *Polypedilum nubeculosum*-type, *Cricotopus sylvestris*-type, *Cryptochironomus* 和 *Dicrotendipes nervosus*-type 急剧减少,而 *Procladius* 含量略有增加, *Chironomus plumosus*-type, *Tanypus*, *Tanytarsus* 和 *Tanytarsus mendax*-type 急剧增多。

带 3 (12 ~ 0cm, 1990 ~ 2006 年) 以 *Chironomus plumosus*-type, *Microchironomus*, *Procladius*, *Tanypus*, *Tanytarsus* 和 *Tanytarsus mendax*-type 为主。其中

Chironomus plumosus-type 比例大幅增加, *Microchironomus* 与 *Procladius* 则略有减少, *Microchironomus tabarui*-type 有显著增加。

2.3 DCA 分析结果

摇蚊数据的 DCA 结果中,前两个轴的特征值分别为 0.259 和 0.051,解释的属种数据的方差值分别为 29.4% 和 5.8%。第一轴的特征值远远高于第二轴,表明沉积物中摇蚊属种的分布主要由第一轴的环境因子所解释,反映的样品点的排列受第一轴的控制;第二轴反映的环境意义不明显。在属种分布图中(图 4a),富营养属种 *Tanypus*, *Chironomus plumosus*-type, *Microchironomus tabarui*-type 等位于第一轴的右边;而中营养水平的 *Paratanytarsus penicillatus*-type, *Polypedilum nubeculosum*-type, *Cricotopus sylvestris*-type 等出现在图的左边。图 4b 中,沉积物样品的分布从右到左表现为明显的 3 个组合单元,与摇蚊组合带的划分一致,表明了湖泊营养状态由低到高的演化过程。

3 讨论

长江中下游地区湖泊富营养化问题突出,近年来长江中下游典型湖泊生态环境演化与营养盐蓄积变化过程被广为关注^[1,12-14,16,28-33],摇蚊分布与湖泊营养盐的变化有密切关系,随着湖泊营养程度的升高,摇蚊幼虫的组合也有明显的变化^[10],在太白湖沉积岩芯摇蚊记录中,1950 年左右摇蚊种群的变

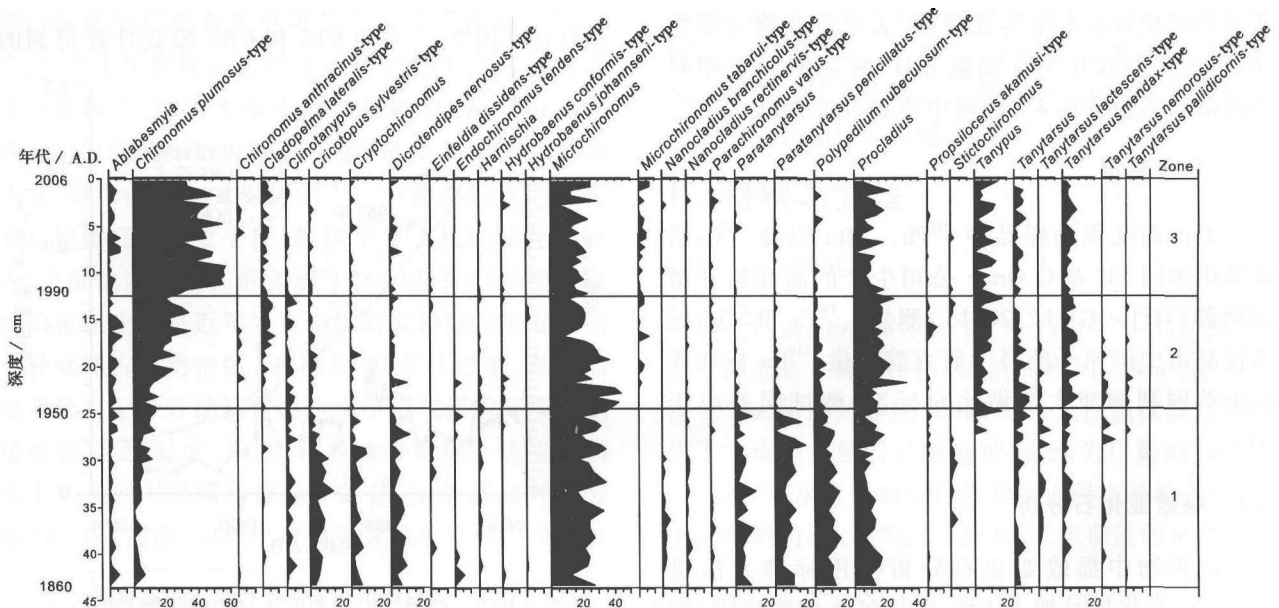


图 3 太白湖沉积岩芯主要摇蚊属种分布图

Fig. 3 Chironomid-percentage diagram of Taibai Lake sediment core

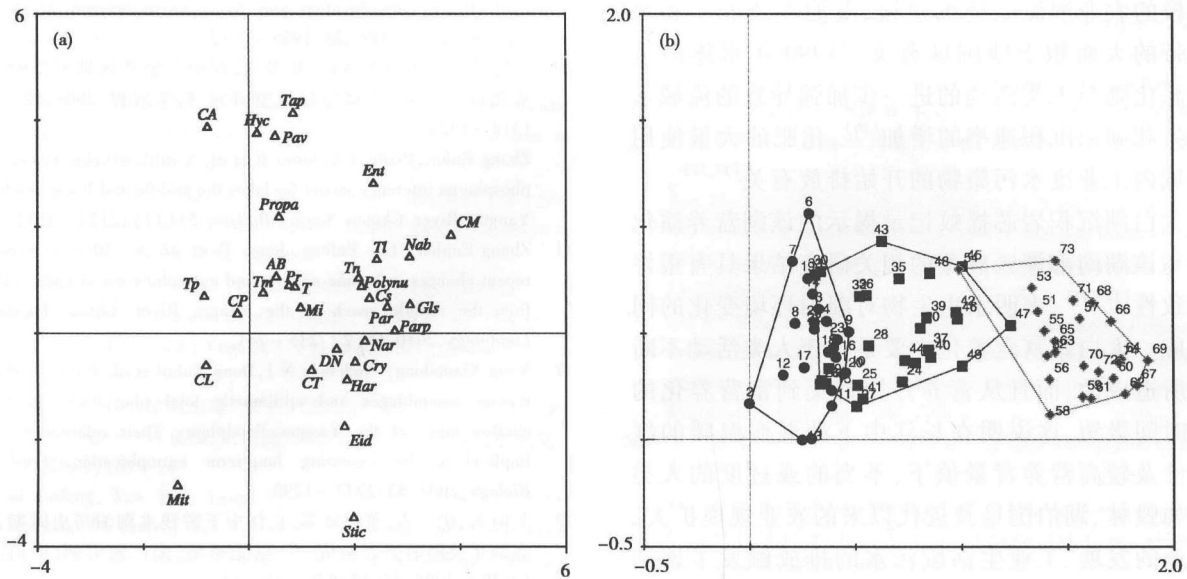


图 4 太白湖沉积岩芯中摇蚊数据 DCA 排序分析结果

4a 中摇蚊属种代码为: AB—*Ablabesmyia* CA—*Chironomus anthracinus*-type CL—*Cladopelma lateralis*-type
 CM—*Cladotanytarsus mancus*-type CP—*Chironomus plumosus*-type Cry—*Cryptochironomus*
 Cs—*Cricotopus sylvestris*-type CT—*Clinotanypus* DN—*Dicretendipes nervosus*-type Eid—*Einfeldia dissidens*-type
 Ent—*Endochironomus tendens*-type Gls—*Glyptotendipes severini*-type Har—*Harnischia* Hyc—*Hydrobaenus conformis*-type
 Mi—*Microchironomus* Mit—*Microchironomus tabarui*-type Nab—*Nanocladius branchicolus*-type Nar—*Nanocladius*
rectinervis-type Par—*Paratanytarsus* Parp—*Paratanytarsus penicillatus*-type Pav—*Parachironomus varus*-type
 Polynu—*Polypedilum nubeculosum*-type Pr—*Procladius* Propa—*Prosilocerus akamusi*-type Sic—*Stictochironomus*
 T—*Tanytarsus* Tap—*Tanytarsus pallidicornis*-type TL—*Tanytarsus lactescens*-type TM—*Tanytarsus mendax*-type
 Tn—*Tanytarsus nemorosus*-type Tp—*Tanypus*

4b 中数字为样品深度(单位: cm)

Fig. 4 DCA ordination of major chironomid taxa from Taibai Lake sediment core

化反映了湖泊水体营养水平的显著升高。1950 年以前,摇蚊组合中的主要属种如 *Paratanytarsus*, *Paratanytarsus penicillatus*-type, *Polypedilum nubeculosum*-type 和 *Dicretendipes nervosus*-type 等一般生活在相对较清澈且有相当密度的大型水生植物分布的水体中^[34,35]。这些属种在 1950 年后急剧减少或者彻底消失,而另外一些属种如 *Chironomus plumosus*-type, *Microchironomus tabarui*, *Procladius*, *Prosilocerus akamusi*-type 和 *Tanypus* 则有显著增加,这些属种在大型浅水湖泊中往往分布有较高的营养耐受度,特别是 *Chironomus plumosus*-type 是富营养化的指示属种^[9,10,18]。20 世纪 50 年代摇蚊种群的明显变化表明湖泊生态系统在该时期发生了显著改变,摇蚊记录则反映在与大型水生植被共生的属种的明显减少,而这种现象常和富营养化的发生相伴。沉积速率和流域人类活动的记录则表明,20 世纪 40 年代至 60 年代,由于围垦导致湖泊面积减少和大量泥沙输入,沉积速率明显升高^[26],从而导致湖泊生态系

统发生了显著的变化。

根据以上主要属种生态特征,结合 DCA 双轴图中属种的排列,第一轴大致反映了营养梯度变化,从右到左,适应中营养的摇蚊属种逐渐向耐营养的属种转变(图 4a)。相应地,从右到左,样品点的排列指示了各层位沉积时期湖泊营养状态由低到高的变化(图 4b)。摇蚊组合变化与 DCA 分析结果一致,反映了近 150 年来太白湖的 3 个主要营养演化阶段(图 3),其中 1950 年以前(组合带 1),太白湖以营养耐受度较低的摇蚊属种为主,大型水生植被发育;1950 年以后(组合带 2),湖泊营养程度迅速提高,与水草共生的属种急剧减少或消失;1990 年以来(组合带 3),富营养属种所占比例大幅增加,湖泊富营养化加剧。

钻孔摇蚊记录揭示出 1950 年前后太白湖出现明显的营养级的转变,即中营养向富营养环境变化,标志了 20 世纪中期太白湖富营养化的开始。根据最近 50 年来的地方资料记载,则主要与 1950 年来

大规模的农业灌溉系统的建设、湖泊专业养殖和湖滨地带的大面积土地围垦有关。1990 年水体的进一步恶化则与人类活动的进一步加强导致的流域水土流失和湖泊沉积速率的增加^[26],化肥的大量使用及流域内工业废水污染物的开始排放有关^[17,31]。

太白湖沉积岩芯摇蚊记录揭示的该湖营养演化过程与该湖南部湖区硅藻的相关研究结果具有很好的一致性^[12-14],表明水生生物对湖泊环境变化的同步响应。太白湖富营养化主要是由于人类活动不断加强所造成的,而且从营养开始富集到富营养化的发生时间极短,这说明在长江中下游湿润温暖的气候条件及较高营养背景值下,不当的或过度的人类活动如毁林、湖泊围垦及近代以来的农业规模扩大、养殖业的发展、工业生活废水的排放触发了该湖富营养化乃至湖泊生态系统功能的退化。因此在该湖的富营养化治理上,必须控制流域内不当的人类活动,需对湖泊资源进行合理的开发与利用。

致谢 薛滨研究员、吴艳宏研究员、吴敬禄研究员、潘红玺高工、肖霞云博士等参加野外采样,夏威岚高级工程师提供了 ²¹⁰Pb 测年数据,在此表示感谢。

参考文献 (References)

- Qin Boqiang, Zhu Guangwei. The nutrient forms, cycling and exchange flux in the sediment and overlying water system in lakes from the middle and lower reaches of Yangtze River. *Science in China (Series D)*, 2006, **49**(1): 1 ~ 13
- Engstrom D R, Schottler S P, Leavitt P R *et al.* A reevaluation of the cultural eutrophication of Lake Okeechobee using multiproxy sediment records. *Ecological Applications*, 2006, **16**(1): 1194 ~ 1206
- 王苏民, 张振克. 中国湖泊沉积与环境演变研究的新进展. *科学通报*, 1999, **44**(6): 579 ~ 587
Wang Sumin, Zhang Zhenke. New progress of lake sediments and environmental changes research in China. *Chinese Science Bulletin*, 2001, **44**(19): 1744 ~ 1754
- Smol J P, Cumming B F. Tracking long-term changes in climate using algal indicators in lake sediments. *Journal of Phycology*, 2000, **36**: 986 ~ 1011
- Walker I R. Midges: Chironomidae and related Diptera. In: Smol J P, Birks H J B, Last W M eds. *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments (Vol. 4): Zoological Indicators*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 43 ~ 66
- Brooks S J. Fossil midges (Diptera: Chironomidae) as palaeoclimatic indicators for the Eurasian region. *Quaternary Science Reviews*, 2006, **25**: 1894 ~ 1910
- Walker I R, Cwynar L C. Midges and palaeotemperature reconstruction—the North American experience. *Quaternary Science Reviews*, 2006, **25**: 1911 ~ 1925
- Eggermont H, Heiri O, Verschuren D. Fossil Chironomidae (Insecta: Diptera) as quantitative indicators of past salinity in African lakes. *Quaternary Science Reviews*, 2006, **25**: 1966 ~ 1994
- Brodersen K P, Quinlan R. Midges as palaeoindicators of lake productivity, eutrophication and hypolimnetic oxygen. *Quaternary Science Reviews*, 2006, **25**: 1995 ~ 2012
- 张恩楼, Bedford A, Jones R 等. 长江中下游地区典型湖泊摇蚊亚化石——湖水总磷定量模型研究. *科学通报*, 2006, **51**(11): 1318 ~ 1325
Zhang Enlou, Bedford A, Jones R *et al.* A subfossil chironomid—total phosphorus inference model for lakes the middle and lower reaches of Yangtze River. *Chinese Science Bulletin*, **51**(17): 2125 ~ 2132
- Zhang Eenlou, Liu Enfeng, Jones R *et al.* A 150-year record of recent changes in human activity and eutrophication of Lake Wushan from the middle reach of the Yangze River, China. *Journal of Limnology*, 2010, **69**(2): 235 ~ 241
- Yang Xiangdong, Anderson N J, Dong Xuhui *et al.* Surface sediment diatom assemblages and epilimnetic total phosphorus in large, shallow lakes of the Yangtze floodplain: Their relationships and implications for assessing long-term eutrophication. *Freshwater Biology*, 2008, **53**: 1273 ~ 1290
- 羊向东, 沈吉, 董旭辉等. 长江中下游浅水湖泊历史时期营养态演化及湖泊生态响应——以龙感湖、太白湖为例. *中国科学 (D 辑)*, 2005, **35**(增刊 II): 45 ~ 54
Yang Xiangdong, Shen Ji, Dong Xuhui *et al.* Historical trophic evolutions and their ecological responses from shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River: Case studies on Longgan Lake and Taibai Lake. *Science in China (Series D)*, 2006, **49**(Suppl. 1): 51 ~ 61
- 董旭辉, 羊向东, 刘恩峰. 湖北太白湖 400 多年来沉积硅藻记录及湖水总磷的定量重建. *湖泊科学*, 2006, **18**(6): 680 ~ 688
Dong Xuhui, Yang Xiangdong, Liu Enfeng. Diatom records and reconstruction of epilimnetic phosphorus concentration in Lake Taibai (Hubei Province) over the past 400 years. *Journal of Lake Science*, 2006, **18**(6): 680 ~ 688
- 王苏民, 窦鸿身主编. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998. 206 ~ 207
Wang Sumin, Dou Hongshen eds. *Lakes in China*. Beijing: Science Press, 1998. 206 ~ 207
- 刘恩峰, 羊向东, 沈吉等. 近百年来湖北太白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
Liu Enfeng, Yang Xiangdong, Shen Ji *et al.* Sedimentary flux of Lake Taibai, Hubei Province and correlations with precipitation and human activities in its catchment during the last century. *Journal of Lake Science*, 2007, **19**(4): 407 ~ 412
- 简永兴, 王建波, 何国庆等. 湖北省海口湖、太白湖与武山湖水生植物多样性的比较研究. *生态学报*, 2001, **21**(11): 1815 ~ 1824
Jian Yongxing, Wang Jianbo, He Guoqing *et al.* A comparative study of aquatic plant diversity of Haikou, Taibai and Wushan Lake in Hubei Province of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(11): 1815 ~ 1824
- Brooks S J, Langdon P G, Heiri O. The identification and use of Palaeartic Chironomidae larvae in palaeoecology. In: QRA Technical Guide No. 10. London: Quaternary Research Association, 2007. 276
- Wiederholm T. Chironomidae of the Holarctic Region. Keys and diagnoses. Part I. Larvae. *Entomologica Scandinavica Supplement*, 1983. 457
- Oliver D R, Roussel M E. The Insects and Arachnids of Canada. Part 11: The Genera of Larval Midges of Canada. Diptera: Chironomidae. Agriculture Canada Publication, 1983. 1 ~ 263
- Ricradevall M, Brooks S J. An identification guide to subfossil Tanypodinae larvae (Insecta: Diptera: Chironomidae) based on cephalic setation. *Journal of Paleolimnology*, 2001, **25**: 81 ~ 99

- 22 Grimm E C. TILIA version 1.11. TILIAGRAPH version 1.18. In: Gear A. A Users Notebook. Illinois State Museum, Springfield, USA, 1991
- 23 Grimm E C. CONISS: A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*, 1987, **13**:13 ~ 35
- 24 ter Braak C J F. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 1986, **67**(5):1167 ~ 1179
- 25 ter Braak C J F, Šmilauer P. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (Version 4.5). Ithaca, NY: Microcomputer Power, 2002. 500
- 26 刘恩峰, 薛滨, 羊向东等. 基于 ^{210}Pb 与 ^{137}Cs 分布的近代沉积物定年方法——以巢湖、太白山湖为例. *海洋地质与第四纪地质*, 2009, **29**(6):89 ~ 94
Liu Enfeng, Xue Bin, Yang Xiangdong *et al.* ^{137}Cs and ^{210}Pb chronology for modern lake sediment: A case study of Chaohu Lake and Taibai Lake. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2009, **29**(6):89 ~ 94
- 27 Appleby P G. Chronostratigraphic techniques in recent sediment. In: Last W M, Smol J P. *Trancking Environmental Change Using Lake Sediments, Volume 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques*. Kluwer Academic Publishers, 2001. 171 ~ 196
- 28 秦伯强, 罗激慈. 太湖生态环境演化及其原因分析. *第四纪研究*, 2004, **24**(5):561 ~ 568
Qin Boqiang, Luo Liancong. Changes in eco-environment and the causes for Lake Taihu, China. *Quaternary Sciences*, 2004, **24**(5):561 ~ 568
- 29 吴艳宏, 王苏民. 湖泊沉积物中人类活动导致的营养盐累积通量估算——以龙感湖为例. *第四纪研究*, 2006, **26**(5):843 ~ 848
Wu Yanhong, Wang Sumin. Estimate of anthropogenic nutrient element fluxes recorded in lacustrine sediments——A case study in Longgan Lake. *Quaternary Sciences*, 2006, **26**(5):843 ~ 848
- 30 薛滨, 姚书春, 王苏民等. 长江中下游不同类型湖泊沉积物营养盐蓄积变化过程及其原因分析. *第四纪研究*, 2007, **27**(1):122 ~ 127
Xue Bin, Yao Shuchun, Wang Sumin *et al.* Enrichment of nutrients and analysis of its reason in sediments of different kinds of lakes at middle and lower Yangtze River Basin. *Quaternary Sciences*, 2007, **27**(1):122 ~ 127
- 31 Liu E, Yang X, Shen J *et al.* Environmental response to climate and human impact during the last 400 years in Taibai Lake catchment, middle reach of Yangtze River, China. *Science of the Total Environment*, 2007, **385**:196 ~ 207
- 32 于革, 沈华东. 太湖流域营养盐产量演化和趋势的数值模拟研究. *第四纪研究*, 2008, **28**(4):667 ~ 673
Yu Ge, Shen Huadong. Numerical simulations on change and trend of nutrient productions from Taihu Lake catchment, China. *Quaternary Sciences*, 2008, **28**(4):667 ~ 673
- 33 王仕禄, 刘丛强, 万国江等. 太湖及其周围河流中 N_2O 的空间分布与释放通量. *第四纪研究*, 2009, **29**(1):144 ~ 152
Wang Shilu, Liu Congqiang, Wan Guojiang *et al.* Spatial distribution and exchange fluxes of nitrous oxide (N_2O) in Lake Taihu and surrounding rivers. *Quaternary Sciences*, 2009, **29**(1):144 ~ 152
- 34 Davidson T A, Sayer C D, Langdon P G *et al.* Inferring past zooplanktivorous fish and macrophyte density in a shallow lake: Application of a new regression tree model. *Freshwater Biology*, 2010, **55**:584 ~ 599
- 35 Langdon P G, Ruiz Z, Wynne S *et al.* Ecological influence on larval chironomid communities in shallow lakes: Implications for palaeolimnological interpretations. *Freshwater Biology*, 2010, **55**:531 ~ 545

CHIRONOMID ASSEMBLAGE AND TROPHIC LEVEL OF TAIBAI LAKE IN THE MIDDLE REACHES OF THE YANGTZE RIVER OVER THE PAST 150 YEARS

Zhang Enlou^① Cao Yanmin^② Liu Enfeng^① Yang Xiangdong^① Shen Ji^①

(^①State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008; ^② Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract

A sediment core recovered from Taibai Lake in the middle reaches of the Yangtze River was analyzed for species assemblage of chironomid fauna to reveal the history of changes in the trophic level of the lake over the last 150 years. The data show that a significant change in the chironomid assemblage occurred at the beginning of 1950s as *Paratanytarsus*, *Dicretendipes* and *Polypedilum nubeculosum*-type, indicators of clear waters with reasonably dense macrophytes and/or rich species compositions, were either reduced or almost disappeared, and *Chironomus plumosus*-type, *Microchironomus tabarui*-type, *Procladius*, *Prospiloceris akamusi* and *Tanytus*, indicators of eutrophication increased significantly. This shift in the chironomid fauna implies a decline of the macrophytes in the lake and an increase in the nutrient level of the lake. Around 1990 A. D., eutrophic chironomid taxa of *Chironomus plumosus*-type and *Microchironomus tabarui*-type increased further, denoting a deterioration of the lake ecosystem. Changes in the chironomid assemblage and increases in the nutrient condition might result from the impact of human activities on the lake environment. The early eutrophication would be related to agrarian activities in the lake catchment and aquacultures within the lake, while the enhanced eutrophic condition after 1990 A. D. might result from agricultural and industrial productions conducted around the lake.

Key words Taibai Lake, subfossil Chironomid, DCA analysis, lake eutrophication