

文章编号 1001-8166(2004)05-0782-07

古温度定量重建的良好代用指标 ——湖泊沉积摇蚊化石记录研究进展

陈建徽, 陈发虎, 赵 艳, 黄小忠

(兰州大学中德干旱环境联合研究中心, 教育部西部环境重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘 要 (双翅目)摇蚊科昆虫对环境因子的变化相当敏感,其水生幼虫的头囊能保存于湖相沉积物中,在国际古湖泊和古环境研究中常被用作一种环境替代指标。因为不同种属的摇蚊对环境因子的最适值和耐受范围有较大差异,所以利用湖相沉积物中的摇蚊化石组合面貌的变化可达到古环境的定量重建。在欧洲和北美进行的许多研究已证实摇蚊是古温度的有效指示器,重建夏季温度相对准确可靠,比其它气候变化代用指标有优势,很可能成为国际上古气温重建所使用的首要生物代用指标。截止目前,该领域研究在国内尚未开展,我国湖泊众多,利用摇蚊研究古温度记录潜力巨大。

关键词 湖相沉积物 摇蚊化石记录 古温度重建 温度替代指标

中图分类号 P532 文献标识码 A

古温度重建是国际全球变化研究的热点,冰芯、树轮、石笋和湖泊沉积是高分辨率古气候重建的主要载体。湖泊沉积记录因其时间序列长、分布广泛等优势,在重建陆地气候和环境变化方面的作用显得越来越重要,成为近年来国际古气候研究的重要对象。然而,不论冰芯、树轮、石笋,或者湖泊记录,由于代用指标(如同位素等)的复杂性、多解性和不确定性^[1-5],在古气温重建方面常常面临诸多困境。近年来,湖泊沉积物中摇蚊化石在重建古温度方面的重要性已引起国际学术界广泛关注。

摇蚊属于双翅目(Diptera)摇蚊科(Chironomidae)昆虫,在全球分布约 400 属共 10 000 余种,其数量巨大,种群密度可达每平方米数千只,常是淡水生态系统中数量最多的昆虫(可占 20%以上),几乎遍及所有的淡水生境^[6]。因此,摇蚊科昆虫长期以来为湖沼学家、生态学家、生物地理学家所关注。

更重要的是:作为一种四蜕期昆虫,摇蚊生命周期的大部分时间都是以水生幼虫的形式度过的,第三和第四蜕期的幼虫拥有抗分解的几丁质化头

囊,可在沉积物中得到较好的保存,并易于提取和鉴别^[7];相当部分的摇蚊类型具有相对较窄的生存耐受范围(tolerance),而不同摇蚊种的生存最适值(optimum)差异巨大;摇蚊的生命周期较短,能够非常迅速地响应环境变化,特别是温度变化^[8-10]。所以,通过分析湖积物中摇蚊组成格局的变化,有可能恢复古环境状况。

摇蚊化石作为环境指标的研究始于 20 世纪初, Gam 于 1927 年第一次尝试利用摇蚊化石指示水生环境的变化^[7]。此后,直到 20 世纪 80 年代末,摇蚊主要用于指示湖泊的古生产力变化,湖泊的富营养化和酸化。90 年代以来,国际上开始探索摇蚊作为温度指示器的作用,并经历了从定性描述分析到定量分析的转换。标志性的工作是 Walker 等^[11]在加拿大东部系列湖泊建立了摇蚊—温度推断函数。随着高质量现代校准数据集(modern calibration dataset)的建立和高分辨率湖芯记录的提取,通过摇蚊进行古温度定量重建取得了很大进展。更多的研究证明,摇蚊化石可以作为较精确的温度替代指标,湖

收稿日期:2003-10-29,修回日期:2004-03-19。

* 基金项目:国家杰出青年科学基金项目“亚洲中部干旱区全新世气候快速变化过程和机制”(编号 40125001)资助。

作者简介:陈建徽(1981-)男,四川泸州人,在读硕士研究生,主要从事气候变化与湖泊生态研究。E-mail:chenjh03@st.lzu.edu.cn

泊沉积摇蚊化石记录已被成功地运用到晚冰期以来的古温度重建方面^[12-14]。目前,摇蚊分析作为定量重建古温度的最有希望的生物方法之一,其实用性和有效性已得到广泛认可^[15]。

1 摇蚊化石的提取和实验分析

摇蚊化石可保存于湖沼沉积物中,提取湖泊表层沉积物和高分辨率湖积岩芯记录是摇蚊温度记录研究的基础。在受人类活动影响小、气候空间变化和季节变化较大的区域开展摇蚊温度记录研究,能够更好重建气候的自然变化。

获取样品并经冷冻干燥之后,国际上已发展了较规范的摇蚊化石提取和鉴定实验程序,可简要归纳如下:化石的分离,在样品中加入5%~10%的KOH将其解絮凝,过95 μm或100 μm网筛,若有必要,还需依次除去碳酸盐和硅酸盐后再次过筛,随后用蒸馏水冲洗数次,摇蚊化石一般大于100 μm,位于网筛之上;化石的挑选,在25~100倍放大率下对摇蚊头囊进行手工挑选;种属鉴定,将头囊在100~1 000倍放大率的显微镜下进行鉴别,一般可鉴别至属水平,在某些情况下可鉴别到种。记数时,常将拥有完整或大部分颈的头囊化石视为一个记数单元,具有一半颈的头囊化石视为半个记数单元,不足一半者不统计。

2 摇蚊—古温度重建研究进展

在能用多变量统计分析来讨论控制摇蚊分布的因素之前,已经有学者认识到温度对摇蚊分布的影响尤其重要^[7]。这是因为温度对摇蚊生理机能具有显著影响^[16]。摇蚊通过在水体中产卵延续下一代,摇蚊卵在适当的水温环境下变成幼虫,幼虫有4个蜕化期,第3和第4蜕化期产生几丁质头囊,可较好地保存在沉积物中。幼虫经4个蜕化期后变成蛹,由蛹又变成摇蚊成体,完成一个生活周期(图1)^[17]。在摇蚊生命周期的这4个阶段中,温度能直接影响摇蚊的蛹化、羽化、生长、摄食、孵化,或通过影响氧气状况、封冻期长短、湖泊分层情况来作用于摇蚊种群。因此,利用摇蚊组合反映温度变化有着可靠的生态学基础。20世纪80年代末至90年代初,随着数量生态学方法在摇蚊组成和分布研究中的引入,温度在摇蚊种群组合方面的重要作用进一步得到证实^[9, 21, 28, 29],摇蚊化石的古温度研究得到迅速发展。其中,定性研究需要首先对化石样品进行描述性统计分析——指标有摇蚊种属的丰度,摇

蚊类型的多样性等,然后结合摇蚊分类单元的生态学特点,对这些指标的变化加以合理的解释,最终勾勒出研究区域在一定时段内的古气候变化状况。定量研究主要包括:利用现代湖泊系列的样本训练集建立摇蚊温度推断模型,将所建立的模型应用于湖芯摇蚊化石组合以实现古温度的定量重建。

2.1 摇蚊—温度重建模型

国际上普遍使用转换函数来建立摇蚊与环境因子的关系,其总体思路是:在由现代摇蚊残体和环境变量值组成的样本训练集中,通过适当的排序分析手段(如除趋势对应分析DCA,典范对应分析CCA,主成分分析PCA),找出构建转换函数的最佳环境变量,并确定在随后的校准过程中采用基于线性的校准技术(如多元线性回归MLR,主成分回归PCR,偏最小二乘法PLS)还是基于单峰的校准技术(如加权平均WA,对应分析回归CAR,加权平均—偏最小二乘法WA-PLS),在此基础上构建相应的环境变量推断函数。应该指出,除转换函数外,现代类比技术、贝叶斯模型、人工神经网络等建模手段在摇蚊—环境因子定量重建研究中也得到运用。



图1 摇蚊的生活周期

Fig. 1 Life cycle of Chironomidae

由于在大尺度上温度变化对摇蚊种群组成有主导作用^[16, 20],摇蚊化石的古温度研究迄今已成为“摇蚊—古环境因子”研究中最集中和深入的领域,因此下文仅就摇蚊—温度重建模型研究状况做一概述。目前国际上的摇蚊—温度模型主要有两类:摇蚊—夏季表层水温模型和摇蚊—夏季气温模型。

2.1.1 摇蚊—夏季表层水温模型

1991年, Walker等对加拿大东部拉布拉多和魁

北克地区的湖泊系列进行了研究。校准集包含 24 个湖泊和 21 种摇蚊类型。他们发现夏季表层水温是解释摇蚊分布的最佳变量,并建立了第一个通过摇蚊推断温度的数量模型^[12]。但 Hann 等^[21]对此项研究持批评态度,他们认为 Walker 等过高估计了温度对摇蚊分布的影响,对其他环境因素考虑不足。作为回应, Walker 等^[20]指出了尺度的重要性,即虽然在较小尺度下,温度以外的因素或许更为重要,但在较大尺度的摇蚊地理分布上,温度的影响是最为关

键的。为对自己的观点加以证明, Walker 等^[22]扩展了初始研究涵盖的气候梯度,同时运用新的建模工具和检验方法,有效地改进了推断模型的预测能力。

1997 年, Olander 等^[23]在芬兰北部初步探索了摇蚊分布与环境因子的关系,再次证实夏季表层水温对摇蚊组成确有重要影响。Brooks 等^[34]在挪威和斯瓦尔巴群岛的研究, Porinchu 等^[10]在内华达的研究,都建立了功能较出色的“摇蚊—夏季表层水温”推断模型(表 1)。

表 1 几种基于摇蚊的夏季表层水温转换函数的简要对比

Table 1 Brief comparison of different quantitative chironomid-based summer surface-water temperature transfer functions

研究者	研究区域	湖泊数量	分类单元数目	模型	决定系数 r^2	预测标准差 ()	温度范围 ()	最大偏差 ()
Walker 等, 1997	加拿大东部	39	34	WA-PLS	0.88	2.26	6.0 ~27.0	2.4
Olander 等, 1997	芬兰北部	30	32	WA	0.58	1.13	6.1 ~15.0	1.1
Brooks 与 Birks, 2001	挪威西部 斯瓦尔巴	111	119	WA-PLS	0.86	2.13	0.3 ~23.0	2.8
Porinchu 与 Cwynar, 2002	美国内华达	44	44	WA	0.73	1.20	11.4 ~19.9	0.9

注: WA 代表加权平均法, WA-PLS 代表加权平均—偏最小二乘法

2.1.2 摇蚊—夏季气温模型

“摇蚊—温度”研究的另一领域,是对“摇蚊—气温”关系的探讨。在生态上,气温不仅能够直接影响摇蚊的散布、生殖和羽化,还能通过水温间接影响摇蚊分布,而气温对表层水温的影响常在初夏(6、7月)达到最大^[24]。所以尝试探索夏季气温对摇蚊种群的影响是很自然的。另外,从温度数据的来源考虑,表层水温指数多通过单点一次测量获得,许多湖泊无连续观测数据,采用这种测量方式产生的温度值质量不高,必然会对转换函数的性能产生影响,这在水温波动较强烈的区域表现得尤为明显^[25, 26]。并且,直接通过摇蚊组合推断气温,可更好地满足古气候学的研究需要。

1997 年, Lotter 等^[27]首先探讨了平均夏季气温与摇蚊组合的关系,他们在瑞士中部建立了“摇蚊—平均夏季气温”转换函数,指明摇蚊在重建古气温方面有很大潜力。

为了在跨大陆背景下讨论摇蚊和温度的关系, Lotter 等^[15]根据欧洲(瑞士阿尔卑斯)数据库^[27]、北美(东加拿大)数据库^[22]和合并的数据库,采用 4 种建模方法,通过加拿大 Splan Pond 晚冰期摇蚊记录重建了 7 月温度变化历史(图 2),发现重建温度尽管变化幅度有一定差异,但其揭示的温度变化格局

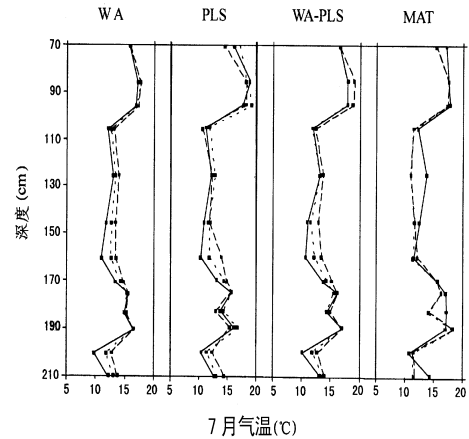


图 2 利用不同模型重建的加拿大 Splan Pond 晚冰期 7 月气温变化过程对比^[13]

Fig. 2 Comparison of the chironomid-inferred July temperatures for the Lateglacial of Splan Pond using different quantitative inference models^[13]

WA 为加权平均法, PLS 为偏最小二乘法, WA-PLS 为加权平均—偏最小二乘法, MAT 为现代类比技术。实线为欧洲数据库, 虚线为北美数据库, 点线为合并数据库^[13]
Weighted Averaging with classical deshrinking (WA), Partial Least Squares (PLS), Weighted Averaging Partial Least Squares (WA-PLS), and Modern Analogue Technique (MAT). Each model has been run with the European (solid line), North American (dashed line), and combined training set (dotted line)^[13]

是一致的。因此在适当条件下,基于不同数据库建立的摇蚊气温模型具有普遍意义。

近年来,摇蚊—气温转换函数研究已有较大进展。Olander等^[25]在芬兰北部,Brooks等^[26,27]在挪威西部,Larocque等^[28]在瑞士北部,Palmer等^[29]在加

拿大西南部的多项研究都说明了摇蚊作为古气温指示器的价值,而Brooks等^[15]于2001年扩展了2000年在挪威西部建立的数据集,并运用一系列改进措施,终于成功建立了同类研究中最准确可靠的气温推断模型(表2)。

表2 几种摇蚊—夏季气温推断模型的简要对比

Table 2 Brief comparison of different quantitative chironomid-based summer-air temperature inference models

研究者	研究区域	湖泊数	分类单元数目	模型	决定系数 r^2	预测标准差	温度范围	最大偏差
						()	()	()
Lotter等,1997	瑞士阿尔卑斯	50	58	夏季气温	0.85	1.37	6.6 ~17.3	1.67
Lotter等,1999	瑞士阿尔卑斯	51	40	7月气温	0.84	1.47	7.6 ~21.0	2.74
Lotter等,1999	加拿大东部	39	51	7月气温	0.85	1.54	5.0 ~19.0	1.70
Lotter等,1999	瑞士和加拿大	90	57	7月气温	0.81	1.74	5.0 ~21.0	3.75
Brooks等2000	挪威西部	44	81	7月气温	0.69	1.11	5.7 ~14.0	2.46
Brooks等2001	挪威西部	109	119	7月气温	0.94	0.90	3.5 ~15.6	0.59
Larocque等2001	瑞典北部	100	48	7月气温	0.65	1.13	7.0 ~14.7	2.10

2.2 古气候重建应用

从区域和时间上看,应用模型并完成古气候定量重建的研究多集中在北美和欧洲,末次冰消期气候快速变化和气候事件是摇蚊气候重建的重要应用时段。

Walker的模型在加拿大东部多次被用于推断晚冰期气候变化,其中两项成果尤为引人注目:一是发现了被命名为Killamey Oscillation或Amphi-Atlantic Oscillation的寒冷事件^[31,32];二是证实了在Laurentide冰原南部区域存在陡峭的温度梯度^[33]。Brooks等^[34]在苏格兰西南的Whitrig Bog进行了基于摇蚊的晚冰期古温度重建,发现与格陵兰冰芯的同位素记录十分吻合,变化细节均可以对比。对冰消期重大气候事件,如新仙女木事件有着清晰的记录(图3)。Cwynar等^[35,36]在缅因州和New Hampshire的研究,利用摇蚊分析发现了孢粉记录未能反映的晚冰期气候波动,显示了摇蚊气温重建的优势。上述工作证实了摇蚊气候重建在冰期/间冰期气温大幅度波动过程中的有效性。

20世纪90年代末,国际上逐渐开展了利用摇蚊恢复全新世气温变化的工作。至今已在加拿大西南^[37]、瑞士中部^[38]、俄罗斯东北部^[10]、法国南部^[39]的环境敏感区域进行了基于摇蚊的定性或半定量全新世气温恢复,揭示了主要的古气候变化趋势。

近年来,全新世气温变化的定量重建研究也开始受到关注。Dimiriadis等^[40]在澳大利亚北部利用摇蚊定量恢复了全新世温度。Rosén等^[41]和Bigler等^[42]在瑞典北部的研究均说明摇蚊可能提供有价值的全新世气温变化信息。在北美和欧洲的其他地

区,类似研究也有开展^[29,43]。此外,在瑞典北部,Larocque等^[44]利用摇蚊气温与87年长度的气候观测进行了对比,结果显示,在该区域,重建气候即使对小幅度的温度变化也足够敏感,因此摇蚊化石具有准确重建全新世温度的潜力。

综上所述,温度在较大尺度上对摇蚊分布有决定性的影响。一方面,摇蚊在晚冰期夏季温度重建中的价值已为很多研究所证明。另一方面,近年来基于摇蚊的全新世气候研究已揭示了摇蚊作为该时段的气温指示器有较大潜力。但是同时,在第四纪摇蚊研究中还需要注意解决以下问题:

(1) 进一步了解各摇蚊类型的生态特点,这是摇蚊—环境因子研究的基础。

(2) 提高鉴别水平,尤其对种类较多的属应尽量鉴别到种。

(3) 改进观测方法和仪器,改善现代环境数据的质量,以更准确的反映环境因子与摇蚊组合的关系。

(4) 发展并运用更先进的多变量统计分析技术,消除目前常用模型本身固有的缺陷。

摇蚊分布广泛,数量丰富,重建夏季气温相对准确可靠,比其它代用指标有优势,相信随着上述问题的逐步解决^[45-47],摇蚊方法将可能成为“在温暖和寒冷环境重建温度的首选(生物)方法”^[15]。

3 中国利用摇蚊进行温度重建的潜力和困难

我国湖泊众多,底栖生物资源丰富。在已调查的许多湖泊中,摇蚊幼虫是湖泊底栖动物的优势种,

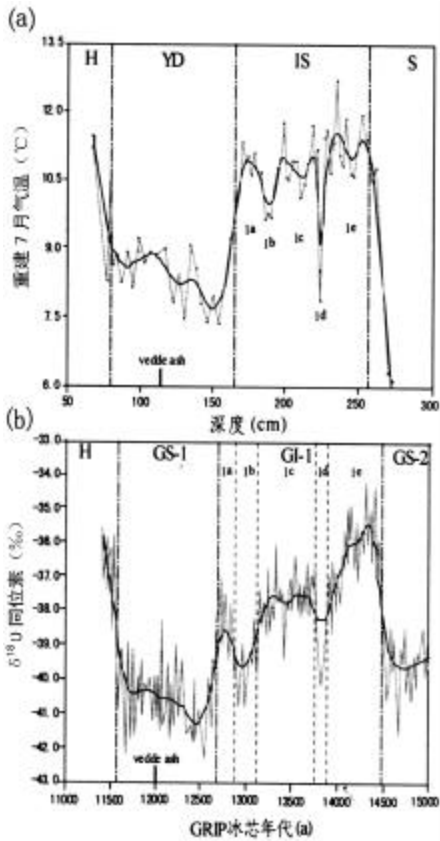


图3 苏格兰 W hitrig Bog 晚冰期和早全新世基于摇蚊的 7 月平均气温重建曲线(a)和 GRIP 氧同位素曲线(b)对比

Fig. 3 The Late-glacial and earliest Holocene chronom id-inferred m ean July air tem perature reconstruction at W hitrig Bog (a) compared with the GRIP oxygen-isotope data (b)

S 代表冰阶, IS 代表间冰阶, YD 代表新仙女木事件, H 代表全新世. GS-1, GI-1, GS-2 均为 GRIP 同位素地层学事件, GI-1a, GI-1e 表示同位素地层幕. vedde ash 为用于定年的火山灰^[14]. S =stadial, IS =interstadial, YD =Younger Dryas, H = Holocene. GS-1, GI-1, GS-2 are GRIP isotope stratigraphy events, GI-1a, GI-1e represent GRIP isotope stratigraphy episodes. The occurrence of vedde ash is marked in both plots^[14]

如青藏高原可鲁克湖, 蒙新高原的岱海、乌梁素海等^[48]。同时, 我国气候类型多样^[49], 摇蚊生活环境复杂, 种群具有多样性, 有利于建立气候转换模型。截止目前, 国内有关摇蚊幼虫的研究主要用于环境监测和水体渔业生产潜力估算等方面^[50], 摇蚊化石作为古环境、古气候替代指标的研究尚未开展。据

国际研究成果来看, 利用我国高分辨率湖泊记录和丰富多样的摇蚊化石开展古温度重建具有极大发展潜力, 可弥补我国树轮、石笋, 甚至冰芯同位素指标的不足。

然而也应看到, 由于摇蚊种类和生态的地域性差异, 不可能全盘照搬国外的分类系统和对各摇蚊类型的生态学理解, 而中国相关基础性研究特别薄弱, 比较完整的摇蚊分类学知识框架尚未构建, 表现为缺乏一致的分类系统和术语学草案, 也没有关于摇蚊幼虫的特征和鉴定的经典性著作, 能够被广泛接受的摇蚊生态学知识缺乏体系, 这些状况的改进无疑需要大量细致的基础性工作。对中国湖泊中摇蚊资源的比较全面的调查是古气候重建的基础。尽管存在这些困难, 但摇蚊气温重建研究可以促进我国古气候重建研究的进展, 逐步使我国古气候、古环境研究达到国际领先水平。

致谢 兰州大学张家武博士帮助修改了全文, 德国柏林自由大学 S. Meshcke 博士提供了部分资料, 南开大学王新华教授, 英国自然历史博物馆 S. Brooks 教授和加拿大 Okanagan 大学学院 Ian. R. Walker 教授给予了有益指导, 谨此致谢。

参考文献(References):

- [1] Gunter Faure. Principles of Isotope Geology (2nd) [M]. New York: John Wiley & Sons, 1986.
- [2] Wei Keqin (卫克勤), Lin Ruifen (林瑞芬). An enquiry into palaeoclimatic information from oxygen isotopic profile of Dundee ice core in Qilianshan [J]. Geochimica (地球化学), 1994, 23 (4): 311-320 (in Chinese).
- [3] Zheng Yongfei (郑永飞), Chen Jiangfeng (陈江峰). Stable Isotope Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 2000 (in Chinese).
- [4] Zhang Cheng (章程), Yuan Daoxian (袁道先). Study on continental paleoenvironment proxy based on speleothems (drop stones) [J]. Advances in Earth Science (地球科学进展), 2001, 16 (3): 347-381 (in Chinese).
- [5] Yu Junqing (余俊清), Wang Xiaoyan (王小燕), Li Jun (李军). Paleoenvironmental interpretations on organic carbon isotopic records from lake sediments: A critique [J]. Journal of Lake Sciences (湖泊科学), 2001, 13 (1): 72-78 (in Chinese).
- [6] Wiederholm T. Chironomidae of the Holarctic Region - Keys and Diagnoses Part 1: Larvae [J]. Entomologica Scandinavica, 1983, 19 (Supp.): 1-457.
- [7] Walker IR. Chironomidae (Diptera) in paleoecology [J]. Quaternary Science Reviews, 1987, 6: 29-40.
- [8] Wilson SE, Walker IR, Mott R J, et al. Climatic and limnological changes associated with the Younger Dryas in Atlantic Canada

- [J]. *Climate Dynamics* 1993, 8: 177-187.
- [9] Walker I R, MacDonald G M. Distributions of Chironomidae (Insecta: Diptera) and other freshwater midges with respect to treeline, Northwest Territories, Canada [J]. *Arctic and Alpine Research* 1995, 27: 258-263.
- [10] Percinhu D F, Cwynar L C. Late-Quaternary history of midge communities and climate from a tundra site near the lower Lena River, northeast Siberia [J]. *Journal of Paleolimnology* 2002, 27: 59-69.
- [11] Walker I R, Smol J P, Engstrom D R, et al. An assessment of Chironomidae as quantitative indicators of past climatic change [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1991, 48: 975-987.
- [12] Walker I R, Mott R J, Smol J P. Allerød-Younger Dryas lake temperatures from midge fossils in Atlantic Canada [J]. *Science*, 1991, 253: 1010-1012.
- [13] Lotter A F, Walker I R, Brooks S J, et al. An intercontinental comparison of chironomid palaeotemperature inference models: Europe vs. North America [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1999, 18: 717-735.
- [14] Brooks S J, Birks H J B. Chironomid-inferred air temperatures from lateglacial and Holocene sites in north-west Europe: Progress and problems [J]. *Quaternary Science Reviews* 2001, 20: 1723-1741.
- [15] Battarbee R W. Paleolimnological approaches to climate change, with special regard to the biological record [J]. *Quaternary Science Reviews* 2000, 19: 107-124.
- [16] Brooks S J. Lateglacial fossil midge (Insecta: Diptera: Chironomidae) stratigraphies from the Swiss Alps [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 2000, 159: 261-279.
- [17] Brodersen K P, Anderson N J. Subfossil insect remains (Chironomidae) and lake-water temperature inference in the Sisimiut-Kangerlussuaq region, southern West Greenland [J]. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 2000, 186: 78-82.
- [18] Walker I R, Mathewes R W. Chironomidae (Diptera) remains in surficial lake sediments from the Canadian Cordillera: Analysis of the fauna across an altitudinal gradient [J]. *Journal of Paleolimnology* 1989, 2: 61-80.
- [19] Rossaro B. Chironomids and water temperature [J]. *Aquatic Insects* 1991, 13: 87-98.
- [20] Walker I R, Smol J P, Engstrom D R, et al. Aquatic invertebrates, climate, scale, and statistical hypothesis testing: A response to Hann, Warner, and Warwick [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1992, 49: 276-280.
- [21] Hann B J, Warner B G, Warwick W F. Aquatic invertebrates and climatic change: A comment on Walker et al. (1991) [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1992, 49: 1274-1276.
- [22] Walker I R, Levesque A J, Cwynar L, et al. An expanded surface-water palaeotemperature inference model for use with fossil midges from eastern Canada [J]. *Journal of Paleolimnology*, 1997, 18: 165-178.
- [23] Olander H, Korhola A, Blom T. Surface sediment Chironomidae (Diptera) distributions along an ecoregional transect in subarctic Fennoscandia: Developing a tool for palaeotemperature reconstructions [J]. *Journal of Paleolimnology* 1997, 18: 45-59.
- [24] Livingstone D M, Lotter A F. The relationship between air and water temperatures in lakes of the Swiss Plateau: A case study with paleolimnological implications [J]. *Journal of Paleolimnology* 1998, 19: 181-198.
- [25] Olander H, Birks H J B, Korhola A, et al. An expanded calibration model for inferring summer lake-water and air temperatures from chironomid assemblages in northern Fennoscandia [J]. *The Holocene* 1999, 9: 279-294.
- [26] Brooks S J, Birks H J B. Chironomid-inferred late-glacial and early Holocene mean July air temperatures for Krkenes lake, Western Norway [J]. *Journal of Paleolimnology* 2000, 23: 77-89.
- [27] Lotter A F, Birks H J B, Hofmann W, et al. Modern diatom, cladocera, chironomid and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. Climate [J]. *Journal of Paleolimnology*, 1997, 18: 395-420.
- [28] Larocque I, Hall R I, Grahn E. Chironomids as indicators of climate change: A 100-lake training set from a subarctic region of northern Sweden (Lapland) [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2001, 26: 307-322.
- [29] Palmer S, Walker I, Heinrichs M, et al. Postglacial midge community change and Holocene palaeotemperature reconstructions near treeline southern British Columbia (Canada) [J]. *Journal of Paleolimnology* 2002, 28: 469-490.
- [30] Birks H J B. Numerical tools in palaeolimnology—Progress, potentialities, and problems [J]. *Journal of Paleolimnology* 1998, 20: 307-332.
- [31] Levesque A J, Mayle F E, Walker I R, et al. A previously unrecognized late-glacial cold event in eastern North America [J]. *Nature* 1993, 361: 623-626.
- [32] Levesque A J, Mayle F E, Walker I R, et al. The Amphiatlantic Oscillation: A proposed late-glacial climatic event [J]. *Quaternary Science Reviews* 1993, 12: 629-643.
- [33] Levesque A J, Cwynar L C, Walker I R. Exceptionally steep north-south gradients in lake temperatures during the last deglaciation [J]. *Nature* 1997, 385: 423-426.
- [34] Brooks S J, Birks H J B. Chironomid-inferred late-glacial air temperatures at Whirrig Bog, southeast Scotland [J]. *Journal of Quaternary Science* 2000, 15: 759-764.
- [35] Cwynar L C, Levesque A J. Chironomid evidence for late-glacial climatic reversals in Maine [J]. *Quaternary Research* 1995, 43: 405-413.
- [36] Cwynar L C, Spear R W. Late-glacial climate change in the White Mountains of New Hampshire [J]. *Quaternary Science Reviews* 2001, 20: 265-274.
- [37] Smith M J, Pellat M G, Walker I R, et al. Postglacial changes in chironomid communities and inferred climate near treeline at

- Mount Stoyom a, Cascade mountains, Southwestern British Columbia, Canada [J]. *Journal of Paleolimnology*, 1998, 20 : 277-293.
- [38] Heiri O, Wick L, van Leeuwen J F N, et al. Holocene tree migration and the chironomid fauna of a small Swiss subalpine lake (Hinterburgsee, 1515m asl) [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2003, 189 : 35-53.
- [39] Gandouin E, Franquet E. Late Glacial and Holocene chironomid assemblages in Lac Long Inférieur (southern France, 2090m) : Palaeoenvironmental and palaeoclimatic implications [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2002, 28 : 317-328.
- [40] Dimitriadis S, Cranston P S. An Australian Holocene climate reconstruction using Chironomidae from a tropical volcanic maar lake [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2001, 176 : 109-131.
- [41] Røggi P, Segerström U, Eriksson L, et al. Holocene climate change reconstructed from diatoms, chironomids, pollen and near-infrared spectroscopy at an alpine lake (Sjødjisaure) in northern Sweden [J]. *The Holocene*, 2001, 11 : 551-562.
- [42] Bigler C, Laroque I, Peglar S M, et al. Quantitative multiproxy assessment of long-term patterns of Holocene environmental change from a small lake near Abisko, northern Sweden [J]. *The Holocene*, 2002, 12 : 481-496.
- [43] Korhola A, Vasko K, Toivonen H T T, et al. Holocene temperature changes in northern Fennoscandia reconstructed from chironomids using Bayesian modeling [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2002, 21 : 841-860.
- [44] Laroque I, Hall R I. Chironomids as quantitative indicators of mean July air temperature: Validation by comparison with century-long meteorological records from northern Sweden [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2003, 29 : 475-493.
- [45] Rieradevall M, Brooks S J. An identification guide to subfossil Tanytopodinae larvae (Insecta: Diptera: Chironomidae) based on cephalic setation [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2001, 25 : 81-99.
- [46] Robertson I, Lucy D, Baxter L, et al. A kernel-based Bayesian approach to climatic reconstruction [J]. *The Holocene*, 1999, 9 : 495-500.
- [47] Vasko K, Toivonen H, Korhola A. A Bayesian multinomial Gaussian response model for paleoenvironmental reconstruction [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2000, 24 : 243-250.
- [48] Wang Hongdao (王洪道), Dou Hongshen (窦鸿身). *Lake Resources of China* [M]. Beijing: Science Press, 1989 (in Chinese).
- [49] Zhao Ji (赵济). *Physical Geography of China* (3rd) [M]. Beijing: Higher Education Press, 1995 (in Chinese).
- [50] Liu Jiankang (刘建康). *Advanced Hydrobiology* [M]. Beijing: Science Press, 2000 (in Chinese).

A POWERFUL INDICATOR FOR QUANTITATIVE RECONSTRUCTION OF PALEOTEMPERATURE — ADVANCES IN THE STUDY OF SUBFOSSIL CHIRONOMID IN LAKE SEDIMENT

CHEN Jian-hui, CHEN Fa-hu, ZHAO Yan, HUANG Xiao-zhong
(Center for Arid Environment and Paleoclimate Research, National Key Laboratory of the
West Environmental System, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Chironomidae (Diptera) is sensitive to environmental change and its larvae possesses a chitinized head capsule which is resistant to decomposition. This kind of invertebrate is usually used as a proxy of paleoenvironmental change. Because different chironomid taxa have different environmental optimum and tolerance, and the ecological magnitude of many chironomid species is very narrow, the change of chironomid composition in lake sediments can be used to reconstruct paleoenvironment. In Europe and North America, many researchers have testified that chironomid is a very effective indicator for paleotemperature, especially for the reconstruction of summer temperature. It has some advantages over other proxies used to indicate climatic change and has potential to become the principal biological proxy in quantitative paleotemperature reconstruction. In western countries, the research in this field has developed fast in recent years. In China where there are many lakes located in different temperature zones, however, little progress has been made now in the utilization of chironomids for reconstruction of paleoclimate or paleoenvironment. Obviously, there are great potentials to use fossil chironomid in the Lakes of China as an indicator for paleotemperature.

Key words: Lake sediment; Fossil chironomid; Temperature proxy.