

湖相介形虫古生态学在环境变化研究中的应用

李 军, 余俊清

(中国科学院青海盐湖研究所西安二部, 陕西 西安 710043)

摘要:湖泊的水文状况和水化学条件,特别是盐度、离子组成、温度及深度等不仅对介形虫种属的分类、组合、丰度及分异度,而且对介形虫壳体大小、形态、结构、壳饰及厚度也起着重要的控制作用。湖相介形虫的古生态学,可以提供重要的环境变化信息,近年来在环境变化研究中得到越来越广泛的应用。为了满足高分辨率环境变化,特别是定量研究的要求,必须了解介形虫的种属分类知识,掌握盐度和离子组成对介形虫种属变化的影响;必须了解介形虫种属的生命历史和生态消长的过程,积累介形虫种属的生态资料;通过定期收集野外介壳和水样分别进行种属鉴定和化学分析,了解湖水的盐度和温度对介壳生态特征的影响。

关键词:湖泊;介形虫;生态学;环境变化

中图分类号:P343.3/Q91 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-858X(2002)01-0066-06

双壳微体甲壳类动物介形虫,广泛分布于各类湖泊体系中,其碳酸盐壳化石通常在湖泊沉积物中保存完好,可以提供重要的环境变化信息。介形虫的古生态学和介壳的地球化学都可用来进行环境变化研究,它们被广泛地应用于各类湖泊体系沉积环境的研究^[1]。介形虫的古生态学不仅可以提供湖泊水文状况和水化学条件方面的信息^[2-4],结合其它资料还可进行古环境参数变化的定量研究^[5,6]。早在20世纪60年代,中科院兰州地质所等单位的研究人员就对青海湖湖岸钻孔岩芯中介形类的化石组合进行了研究,并以此作为更新世以来地层划分的重要依据^[7]。从20世纪80年代起,我国陆续开展了岱海、甜水海及佩枯错等湖介形虫古生态学的研究^[8-11]。王苏民等^[8,9]对岱海湖岸钻孔岩芯中介形类组合特征所反映的水深和冷暖生态环境进行了有益的探讨和研究。李元芳等^[10]利用甜水海介形类种属和组合生态特征的变化并结合其它环境指标,恢复了湖区近24万年来的环境变化。彭金兰^[11]利用佩枯错湖三级阶地剖面介形类种属的生态特征和组

合变化并结合沉积物的沉积特征,恢复了湖区13000~4500年间的环境变化。为了获得更加可靠的环境变化信息和准确的古环境参数,近年来国内外学者在介形虫的生存条件、种属分类与盐度和离子组成的关系、介壳变化与盐度和温度的关系以及如何利用数学方法对介形虫的古生态参数定量定量研究环境变化等方面进行了广泛而深入的研究。鉴于湖相介形虫的古生态学在环境变化研究中显示出的重要作用,本文以近年来的主要研究成果为基础,对介形虫的古生态学在环境变化中的主要应用和研究进展作扼要的介绍。

1 介形虫的生态学

介形虫的生活领域十分广泛,在一切天然水域中都能生存,如淡水、半咸水以及咸水环境,以浅海和湖沼为最多,从数千米的深海到热泉、沟渠及沼泽等环境都有分布。在湖泊体系中,湖泊的水文状况和水化学条件受气候控制的降水和蒸发变化的影响,介形虫对环境,特别是对盐度和温度

收稿日期:2001-12-06;修回日期:2001-12-28

基金项目:国家自然科学基金项目(49971074);中国科学院创新项目(KZCX1-Y-05)

作者简介:李军(1971-),男,硕士研究生,从事环境变化研究。

的变化极其敏感,它们是影响介形虫生存的主要因素^[12],因此,介形虫可作为古盐度、古温度、古深度及古水位等古水化学和古水文参数的标志,从而提供重要的环境变化信息。

介形虫的分类学目前仍存在很大的争议,但普遍认为介形虫属于节肢动物门(Arthropoda)甲壳纲(Crustacea)速足亚目(Podocopa),速足亚目可分为 5 个科(Superfamily),所有非海相介形虫都属于以下 3 个科,即金星虫科(Cypridacea)、女神虫科(Cytheracea)和达尔文介科(Darwinulacea),大多数淡水介形虫属于金星虫科。介形虫的生命周期一般为 3~5 周,生长发育的过程中一般要经过 8~9 次蜕壳,然后才能达到成熟阶段。介形虫每次蜕壳两瓣,介壳是在几天内分泌形成并脱落的,为低 Mg 方解石。大多数湖相介形虫生活在湖底表层,一般长 0.3~3.0mm,介壳的化学组成可以反映壳体钙化形成时水体的水化学条件、温度及同位素的组成和变化。介形虫种属的生态特征参数包括种属分类、组合、丰度及分异度等,可用来进行环境变化研究。介壳的生态特征参数包括壳体大小、形态、壳饰、结构、肌痕、厚度、质量及铰合形态等,可用来进行介形虫的种属鉴定和环境变化的研究。

有许多条件可以影响介形虫的生存、发展及繁衍,其中包括水体的类型、深度、温度、水化学(pH 值,碱度,离子类型,盐度及溶解氧含量等)、湍流度、能量水平、食物供给状况、水体混浊度、湖底表层沉积物(底质)特性及捕食状况等条件。Holmes 等人认为,在不同的生态环境下影响介形虫生存的主控因素不尽相同。水体和底质的性质对介形虫的种属丰度和分异度起着十分重要的作用,湖泊深度和底质变化与其有紧密的联系^[13]。有时,水体存在的持久性、水生植物的覆盖状况及水源状况等也对其起着重要作用,而水体化学组成的变化对其的影响似乎较小^[14]。此外,水体容积的大小对其也有一定的影响^[15]。容积小、水体浅的湖泊的水量往往受降水与蒸发变化的控制而发生较大的波动,并且可导致湖泊发生季节性或年际性的干涸现象,介形虫种属的空间变化不大,由此则可推断湖泊水体的类型;而容积大、水体深的湖泊的水量变化一般较小,介形虫种属的空间分布与水体的深度和水生植物的类别紧密地联系

在一起,与湖泊水位的变化呈一定的函数关系,由此可推断湖泊水位的变化。

介形虫对温度变化比较敏感,介壳的生长速率受水温控制。一般情况下,冷水中介壳的生长速度较低,而个体却较大。因此,在同一化石群样品中,同一种属的成年个体大小存在较大差别,则可能是在不同温度下形成的,反映了水体温度的季节性变化;反之,则表明了水温变化不大的热带气候条件或深水湖泊体系^[16]在全球尺度上,介形虫种属组合的变化与纬度的变化有着一定的联系,显示出温度对介形虫的生存的控制作用。表 1 给出了几种非海相介形虫生存的年平均温度范围。然而,广温性介形虫,如 *Darwinula stevensoni* 等几乎在所有的温度范围内都可发现,加之缺乏相应的有关介形虫种属适宜温度条件方面资料等因素的影响,都使利用介形虫与温度的关系进行环境变化研究有一定的难度。

表 1 几种非海相介形虫种属生存的年平均温度范围^[17,18]

Table 1 Mean annual temperature ranges for selected species of nonmarine ostracodes	
种属	温度/℃
<i>Candona caudata</i>	3.4~27.0
<i>Candona subtriangulata</i>	2.6~19.2
<i>Candona rawsoni</i>	5.5~30.2
<i>Candona renoensis</i>	0.0~31.0
<i>Cyclocypris ampla</i>	3.0~29.5
<i>Cytherissa lacustris</i>	3.3~23.0
<i>Ilyocypris gibba</i>	14.0~29.5
<i>Limnocythere stapilini</i>	8.0~32.0
<i>Dolerocypris fasciata</i>	10.0~20.0

介形虫对盐度的变化十分敏感,现代湖相介形虫生存的盐度最低极限值为 180mg/L^[18],然而,在极低的盐度下也有介形虫生存。表 2 给出了一些非海相介形虫生存的盐度范围。象温度一样,盐度变化对介形虫种属的影响也分为广盐性和狭盐性。同时,盐度变化对介壳的生态特征也可产生重要的影响,如 *Cyprideis torosa* 等随着盐度的变化壳饰可发生一定的变化。*Cyprideis torosa* 分为有瘤型和无瘤型两类,在盐度几乎从 0~150‰的水体中都能生存,在盐度较低(2~6‰)的水体中,有瘤型占种群的 85%以上,在盐度大于 5‰时有瘤

型数量减少,无瘤型增加,而在盐度高达 14‰时偶尔才可发现有瘤型^[2]。生活在以 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 离子为主,盐度变化较小水体的淡水介形虫的种属变化较小,然而生活在盐度变化较大水体中的咸水介形虫,即使水体的离子组成相似,介形虫的种属变化也较大。De Deckker^[16]等经过研究认为,如果湖水盐度在方解石的分支点(方解石沉淀开始出现时)以下且离子以 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 为主,介形虫

表 2 一些非海相介形虫种属生存的盐度范围^[4, 16, 20, 21]

种属	盐度‰
<i>Cypricercus fuscatus</i>	0.0~0.3
<i>Candona acuminata</i>	0.0~0.3
<i>Candona hartwigi</i>	0.0~0.6
<i>Ilyocypris decipiens</i>	0.0~0.8
<i>Ilyocypris gibba</i>	0.0~3.6
<i>Eucypris virens</i>	0.0~5.0
<i>Cyclocypris laevis</i>	0.0~6.0
<i>Cypria ophthalmica</i>	0.0~6.0
<i>Cypridopsis vidua</i>	0.0~8.0
<i>Darwinula stevensoni</i>	0.0~15.0
<i>Candona neglecta</i>	0.0~15.0
<i>Herpetocypris reptans</i>	0.0~15.6
<i>Limnocythere inopinata</i>	0.0~25.0
<i>Cypridopsis inaequalva</i>	0.0~15.0
<i>Australocypris insularis</i> —hypersalina	2.0~83.0
<i>Cypridopsis okeechobei</i>	0.3~3.4
<i>Cyprideis salebrosa</i>	0.3~3.9
<i>Candona angulata</i>	0.3~14.3
<i>Sarscypridopsis aculeata</i>	0.3~14.3
<i>Heterocypris salina</i>	0.3~20.0
<i>Cyprideis torosa</i>	0.3~150.0
<i>Limnocythere bradburyi</i>	1.0~10.0
<i>Limnocythere dubiosa</i>	1.5~33.7
<i>Limnocythere sappaensis</i>	1.0~44.9
<i>Limnocythere mowbrayensis</i>	5.0~15.0
<i>Diacypris dietzi</i>	2.5~120.7
<i>Diacypris spinosa</i>	5.0~42.3
<i>Mytilocypris praenuncia</i>	5.0~38.5
<i>Mytilocypris henricae</i>	5.0~20.0
<i>Australocypris robusta</i>	15.0~55.0
<i>Australocypris rectangularis</i>	50.0~150.0
<i>Leucocythere mirabilis</i>	0.5~256.7
<i>Eucypris inflata</i>	8.5~256.7

种属丰度和分异度都较低,介形虫的种属一般不

超过 5 种;随着盐度继续增加直到方解石的分支点,介形虫种属的丰度和分异度都在增加,有时可达 20~30 种;当超过方解石的分支点后(Ca^{2+} 或 HCO_3^- 被耗尽),介形虫种属的分异度则趋于降低,而丰度则趋于更大,有时甚至为单一一种属,但却有极大的丰度。

介形虫不仅对盐度的变化十分敏感,而且对水体的离子组成也十分敏感。在湖泊体系中,随着蒸发的加强,不饱和的水体逐渐变为饱和水体,不同矿物开始沉淀,不同的离子有选择地从水体中移去,使各个离子的浓度发生变化。湖水的浓缩过程主要有两种类型,当湖水沿中性盐的浓缩过程演化时,以阳离子的富集为特征,依碳酸盐、硫酸盐和氯化物的次序发生沉淀,介形虫的分异度随之降到 *Cyprideis* 的单种居群,最后被 *Cyprinus* 取代以至全部消失;而碱性盐浓缩过程以阴离子富集为特征,依碳酸盐、碳酸氢盐和纯碱类的次序发生沉淀,介形虫的分异度较高,一般以 *Limnocythere* 和 *Gomphocythere* 占优势^[4]。Forester^[23]等的研究显示, *Limnocythere staplini* 和 *Limnocythere sappaensis* 即使在 pH 值和盐度相似的水体中,对水体离子组成的要求也完全不同。 *L. staplini* 只在富 Ca^{2+} 离子的水体中生存,而 *L. Sappaensis* 则更多出现于富 HCO_3^- 的水体中。在现代盐湖中它们相互排斥且不共生,即使在离子组成不同的相邻水体也是如此。水体离子的组成对介形虫能够容忍的盐度范围也有一定的影响,如 *Candona rawsoni* 既可生活在富 HCO_3^- 的淡水至微咸水中,也可生活在贫 HCO_3^- 的微咸水至极咸水中。

在湖泊体系中,随着蒸发的加强和水份的散失, Ca^{2+} 浓缩, pH 值增大且碳酸盐逐渐趋于饱和。在此过程中,介形虫种属的丰度增大,介壳的壳壁变厚^[24, 25]。这是因为高 pH 值水体中的 Ca^{2+} 不仅有利于丰富介壳的自身成分,而且还可以丰富水体及沉积物的钙质成分,防止介壳发生化学溶蚀作用,有利于介壳化石的保存。另外,介壳壳饰的发生与水体的盐度及所含有机物和硅质的丰度有密切的联系^[4]。介壳壳饰的种类和发育程度与盐度的关系复杂多变,而与有机物和硅质的丰度呈复杂的正相关系。而且,水深对介壳的壳饰、厚度及形态也有十分重要的影响^[24, 26]。介壳壳饰的发育程度随着水深的增加而增加,而壳壁却变薄,并

且湖泊深水区多为缺氧还原环境,所以介形虫的种属单调且丰度较小。

介形虫的种属以及壳体的生态特征显然与湖泊的生态环境有着紧密的联系,但到目前为止,它们与水体盐度、离子组成、温度及深度等条件相互关系仍需作深入研究。

2 介形虫的古生态学

介形虫的古生态学方法和其它动植物化石群所涉及的一样,主要应用标准的古生态方法,集中研究介壳化石本身以及赋存化石的沉积物,在全面掌握生态背景资料的基础上,对比现生介形虫的生存条件以及现代沉积物的形成条件,推测和判断介壳化石和沉积物记录的古生态环境,进行环境变化的研究。利用介形虫的古生态研究环境变化,首先可以利用介形虫种属的生态特征,其次可以利用介壳的生态特征,最后可以综合各种古生态参数和古环境信息对环境变化进行全面研究。利用介形虫的古生态特征进行环境变化研究是否能够成功以及对环境恢复所能达到的程度取决于对介形虫生态资料掌握的详细和准确程度,这是利用介壳化石进行环境变化研究的先决条件。

利用古生态学进行环境变化研究,首先要求对介壳化石进行种属分类和鉴别,然后在此基础上判断化石是原地还是异地埋葬的。对微体化石而言,要判断化石是原地还是异地埋葬是十分困难的。介形虫在到达成熟阶段时要经过多次蜕壳,每次所蜕壳体的大小、形状、厚度及质量等都差别较大,因此,可以根据介壳化石的种群年龄结构状况来判断化石是异地还是原地埋葬的^[2,27],微弱的扰动就会使已死介形虫的壳瓣脱落,所以大量的壳瓣的存在,一般显示了低能量或迅速的沉积环境或较小的后期改造,这还需要结合介壳化石保存的结构特征及铰合的复杂程度等参数综合判断。同时,大量幼体壳瓣的存在,往往预示了不利介形虫生存的环境突变。在排除钻孔取芯、分割、溶解及挑选等对介壳破坏的前提下,破碎介壳数量的多少也可推测能量水平的大小。

介形虫由活体变为化石要经过一系列的沉积和成岩过程,样品的采集和处理过程又要受到人

为因素的破坏,致使介壳化石表现出各种各样的保存特征。仔细分析这些保存特征,对利用介形虫进行环境变化研究具有十分重要的意义。介壳化石的保存特征^[28]一般包括壳体颜色、壳内充填物、壳体完整程度、壳体化学溶蚀和结晶及其它特征,这些特征是湖泊水文状况和水化学条件的综合反映。壳体颜色分为三类:浅色类型,为无色或白色,多为原色;中色类型,为褐色或红色,多为铁质或磷酸盐侵染;深色类型,为灰色或黑色,多为黄铁矿充填。根据有无充填物,可将化石分为未充填壳和充填壳。根据充填物的成分可将充填壳分为四类:方解石、白云石、黄铁矿及泥质充填壳,每类壳体充填物一般或多或少都混有其它成分,结晶状态为隐晶或亮晶,胶结物为碳酸盐或泥质,由压溶作用或细菌作用形成。壳体完整程度包括单瓣、双瓣、破碎状况及压扁变形状况等,可反映水动力的强弱和压力的大小。其它保存特征包括介壳表面是否具有包体及壳内是否具有内膜或内核等,它们反映了介壳石化过程中的物化条件。

介形虫的生存条件并不等于介形虫的埋葬条件,无论是原地还是异地埋葬的,在整个埋葬、石化的过程中都会有许多因素影响到介壳的保存,这些因素包括机械破坏、沉积学因素、化学溶蚀以及生物学因素等^[28,29]。机械破坏是影响壳体保存的最重要因素,水动力的搬运可以造成壳体与壳体、壳体与碎屑颗粒之间的磨蚀,使壳体双瓣分离和破碎。另外压实作用、充填物的重结晶和膨胀作用也可引起壳体的破碎。沉积学因素主要指沉积基底和沉积速率。不同的沉积基底会影响壳体的保存,钙质基底有利于壳体的保存。沉积速率大,多为双壳;小则相反。化学溶蚀主要指pH值和碳酸钙的饱和度,pH值小时不利于壳体的保存,碳酸钙不饱和时也不利于壳体的保存。生物学因素主要指介形虫自身的生物学特征,如个体的大小、壳壁的厚薄及铰合的牢固程度等。因此,利用介形虫的古生态学进行环境变化研究时,一定要根据化石的保存特征和沉积物的沉积特征慎重考虑化石的保存条件,准确推测和判断过去介形虫生存的环境条件。

对介形虫的古生态进行定量分析的参数^[30]有丰度、群落结构(包括分异度和优势度等)及各

类比值(包括双瓣壳/单瓣壳和幼体/成体等)等,各参数的意义如下。丰度一般认为可反映沉积物的沉积速率,沉积速率大,则丰度小;沉积速率小则相反,但不排除生物群的营养条件及化石群的埋葬条件等因素的影响。分异度(包括简单分异度和复杂分异度)既可反映种属的多少,又可反映各种属间个体分布的均匀度。优势度可作为分异度的补充信息。双瓣壳/单瓣壳可反映沉积速率的大小和水动力的强弱,水动力强,经过多次搬运,单瓣壳多;水动力弱则相反,且双壳多也可作为原地埋葬的标志,但不排除不同种属壳瓣铰合程度不一的影响。幼体壳/成体壳可作为原地或异地埋葬的标志,幼体壳和成体壳共生多为原地埋葬标志。

近年来国外少数学者致力于利用介形虫的古生态学对环境变化进行定量化的研究,根据数量化理论对介形虫的生态参数进行定量,然后利用数理统计方法建立变换函数对环境变化进行定量研究。Ph Mourguiart^[5,6]等对现生和化石样品种中介形虫的种属丰度进行统计并利用对应因子分析对结果进行分析并找出化石所对应的现生样品,然后对现代环境参数进行测量和分类并利用多元线性回归分析建立变换函数,最后利用变换函数对湖泊的盐度、深度、Mg/Ca 及古水位等古环境参数进行定量恢复。这种方法对环境突变的反应并不十分敏感,并且易受古今环境的差异程度和化石的埋葬条件等因素的影响。

由于对介形虫和温度关系方面的生态资料知识积累较少加之认识不够,所以直到目前为止,介形虫更多的是被用来恢复盐度,而不是温度。一般情况下,介形虫的种属分类、丰度及分异度的演化周期与湖泊的发育、收缩和沉积旋回比较一致,在湖泊最发育的时期,介形虫十分繁盛;在湖泊发育的初期和末期,往往是介形虫的发生或衰退时期。较高的种属分异度,往往显示了较高的湖水水位和稳定适中的盐度。比较单一或较低的种属分异度,适中的丰度,往往显示了较高的盐度。适中的种属分异度,较大的丰度,一般反映了湖泊的水体稳定、清澈富氧、盐度较高以及湿热的气候。介形虫的丰度极低或缺失,可能反映了极高或极低的盐度及极端干旱或极端寒冷的气候,这需要其它资料综合判断分析,才能作出准确结论。明

显的壳饰变化,往往显示了盐度、水深及有机质和硅质丰度的变化等。

湖相介形虫的古生态学在湖泊沉积环境变化的研究中起着重要的作用,然而由于对介形虫的种属分类和生态环境知识掌握较少^[31],如一些广域种属能够忍受环境变化的范围;一些区域性种属或新种属的生态环境知识;加之有时沉积物中缺失介形虫化石等因素的影响,导致很难获得准确的环境变化信息。因此,介形虫的古生态学在研究高分辨率环境变化,特别是在定量研究环境变化的时候还存在明显的不足,然而它却为利用介形虫的古生态学进行环境变化研究开辟了一条新的道路,相信随着研究的深入和资料的积累,在不久的将来介形虫的古生态学一定会成为环境变化研究的有力手段。

致谢:本文在编辑、定稿、排版及打印过程中得到西安二部张丽莎老师的大力支持,在此表示衷心感谢。感谢同济大学教育部海洋地质重点实验室赵泉鸿教授,在收集资料的时候给予的热心帮助。

参考文献:

- [1] 李军,余俊清.湖相介形类壳体地球化学在环境中的应用与进展[J].湖泊科学,2001,13(4):361—375.
- [2] Whitley R. Population structure of ostracods; some general principles for recognition of palaeoenvironments. In: De Deckker P, Colin J P, Peypouquet J P, eds. Ostracoda in the earth sciences [M]. Amsterdam: Elsevier, 1988. 245—256.
- [3] Cohen A S, Dussinger R, Richardson J. Lacustrine paleochemical interpretations based on eastern and southern African ostracodes [J]. Paleogeogr Palaeoclimat Palaeoecol, 1983, 43: 129—152.
- [4] Carbonel P, Colin J—P, Danielopol D L, et al. Paleocology of limnic ostracodes; a review of some major topics [J]. Paleogeogr Palaeoclimat Palaeoecol, 1988, 62: 413—461.
- [5] Mourguiart Ph, Carbonel P. A quantitative method of palaeolake level reconstruction using ostracod assemblages; an example from the Bolivian Altiplano [J]. Hydrobiologia, 1994, 288: 183—193.
- [6] Mourguiart Ph, Corregge T, Würmann D, et al. Holocene palaeohydrology of Lake Titicaca estimated from an ostracod-based transfer function [J]. Paleogeogr Palaeoclimat Palaeoecol, 1998, 143: 51—72.
- [7] 中科院兰州地质研究所,等.青海湖综合考察报告[M].北京:中国科学出版社,1979.9—15.
- [8] 王苏民,吴瑞金,蒋新禾.内蒙古岱海末次冰期以来的环境变迁与古气候[J].第四纪研究,1990,3:223—232.
- [9] 王苏民,冯敏.内蒙古岱海湖泊环境变化与东南季风强弱的关系[J].中国科学, B 辑, 1991, 21(7): 759—768.
- [10] 李元芳,李炳元,王国,等.西昆仑甜水海古湖泊介形类及其环境意义[J].湖泊科学,1997,9(3):223—230.

[11] 彭金兰. 西藏佩枯错距今 13000~4500 年间的的介形类及环境变迁[J]. 微体古生物报, 1997, 14(3): 239—254.

[12] Holmes JA, Patrick A, Fothergill F, et al. A high-resolution Holocene record from Sahel zone of Northeastern Nigeria [J]. *Palaeolim*, 1998, 20: 369—380.

[13] Mourguiart P, Carbonel P, Peypouquet J-P, et al. Late Quaternary palaeohydrology of Lake Huinaymarca [J]. *Hydrobiologia*, 1986, 143: 191—197.

[14] Holmes JA. Recent non-marine Ostracoda (Crustacea) from Yobe State, Northern Nigeria [J]. *Afr Zool*, 1997, 111: 137—146.

[15] Holmes JA. Recent non-marine Ostracoda from Jamaica, West Indies [J]. *Micropalaeontology*, 1997, 16(2): 137—143.

[16] De Deckker P, Forester R M. The use of ostracods to reconstruct continental palaeoenvironmental records. In: De Deckker P, Colin J-P, Peypouquet J-P, eds. *Ostracoda in the earth sciences* [M]. Amsterdam: Elsevier, 1988. 175—199.

[17] Delome L D. Ostracodes as Quaternary paleoecological indicators [J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1969, 6: 1471—1476.

[18] Delome L D. Distribution of freshwater ostracodes in Lake Erie [J]. *Journal of Lakes Research*, 1978, 4: 216—220.

[19] 杨留法. 试论介形虫生存的主要条件——以我国现代湖泊为例[J]. 中国科学, B 辑, 1986, 11: 1219—1224.

[20] Neale J W. Ostracods and palaeosalinity reconstruction. In: De Deckker P, Colin J-P, Peypouquet J-P, eds. *Ostracoda in the earth science* [M]. Amsterdam: Elsevier, 1988. 125—155.

[21] Yang F. Distribution of brackish-salt water ostracods in northwestern Qinhai Plateau and its geological significance [C]. In: Hanai et al. eds. *Evolutionary Biology of Ostracoda* [M]. Amsterdam: Elsevier, 1988. 519—530.

[22] Vesper B. To the problem of nodding on *Cyprideis torosa* (Jones, 1850) [J]. *Bull Amer Palaeont*, 1975, 65(282): 202—216.

[23] Forester R M. Relationship of two lacustrine ostracode species to solute composition and salinity: implications for palaeohydrochemistry [J]. *Geology*, 1983, 11: 435—438.

[24] 叶得泉, 徐静慧, 松辽盆地白垩纪介形类地层学特征[J]. 微体古生物学报, 1994, 11(4): 429—438.

[25] 刘传联, 洪太元, 刘炳继, 等. 山东东营凹陷早第三纪沙一段介形虫丰度的不均匀性及其地质意义[J]. 微体古生物学报, 1994, 11(2): 213—222.

[26] 杨藩, 孙镇城, 曹春潮. 柴达木盆地陆相第四系具刺介形类新属 *Qaidamocypris* 的发现及意义[J]. 微体古生物学报, 1995, 12(3): 275—283.

[27] 赵泉鸿. 半咸水介形虫 *Tanella opima* Chen 的种群动态研究[J]. 微体古生物报, 1992, 9(3): 235—242.

[28] 刘传联, 洪太元, 毕海红, 等. 东营凹陷沙河街组介形虫化石保存特征研究及应用[J]. 微体古生物学报, 1998, 15(2): 186—195.

[29] 赵宇虹. 不同 pH 值水溶液对现生介形类壳体保存的影响[J]. 微体古生物学报, 1990, 7(1): 1—8.

[30] 刘传联, 洪太元, 刘炳继, 等. 沙河街组介形虫化石群定量分析方法及地质意义[J]. 微体古生物学报, 1993, 10(4): 429—446.

[31] Holmes J A, David J H. Non-marine Ostracoda: Evolution and environment [J]. *Paleogeogr Palaeoclimat Palaeoeco*, 1999, 148: 1—7.

Application of Lacustrine Ostracodes to the Study of Environmental Changes

LI Jun, YU Jun-qing

(Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710043, China)

Abstract: Paleocological characteristics of fossil ostracod shells buried in the lake sediment sequences are increasingly studied and used to indicate the past environmental changes. The hydrological state and water chemistry of a lake, particularly the salinity, ionic composition, water temperature and depth, exert important controls not only on the taxonomy, assemblage, abundance and diversity of ostracod species, but also on the size, morphology, ornamentation, structure and thickness of ostracod shells. Changes in paleohydrological and paleolimnological conditions of a lake may be reconstructed based on the paleoecological information of the ostracod shells. Specialists in this field have been focusing their attention on (1) the taxonomy and controls of the salinity and ionic composition of a lake on the changes of ostracod species, (2) the life history and ecological procedure of the ostracod species concerned, to accumulate the ecological data of ostracod species (3) identifying field regular collections of ostracod shells and analyzing samples of lake waters, to learn the controls of the salinity and depth on the ecological characteristics of ostracod shells.

Key Words: Lakes; Ostracodes; Ecology; Environmental indicators