J. Lake Sci.(湖泊科学), 2009, **21**(5): 713-719
http://www.jlakes.org. E-mail: jlakes@niglas.ac.cn
©2009 by *Journal of Lake Sciences*

太湖软体动物现存量及空间分布格局(2006–2007 年)*

蔡永久[1,2], 龚志军[1**], 秦伯强[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: 2006 年 11 月至 2007 年 10 月对太湖软体动物进行了一周年调查. 软体动物在 30 个采样点的出现率为 90.0%, 采集的 232 份样品中共记录到 9 科 12 属 12 种. 软体动物在分布区的年均密度和生物量分别为 266ind./m^2、102.2g/m^2. 河蚬(*Corbicula fluminea*)和铜锈环棱螺(*Bellamya aeruginosa*)是太湖软体动物的优势种, 河蚬的出现率为 90.0%, 年均密度和生物量分别为 174ind./m^2、58.3g/m^2, 其主要分布在西南湖区(393–896ind./m^2)和贡湖湾(393–552ind./m^2); 铜锈环棱螺的出现率为 56.7%, 年均密度和生物量分别为 58ind./m^2、61.6g/m^2, 主要分布在东太湖(140–299ind./m^2). 主成分分析结果表明, 河蚬空间分布格局取决于生境类型和底质性质, 而螺类的分布与水生植物的分布相一致, 说明水生植物对螺类的分布有重要影响, 这与经典的螺–草互惠理论相一致. 比较 1987–2006 年太湖软体动物群落结构变化发现, 20 年来河蚬的高值区域已由梅梁湾、竺山湾转变为大太湖, 河蚬个体大小趋于小型化发展(P<0.001), 而环棱螺小型化趋势并不显著(P=0.051).
关键词: 太湖; 软体动物; 空间分布; 河蚬; 铜锈环棱螺

Standing crop and spatial distributional pattern of Mollusca in Lake Taihu, 2006–2007

CAI Yongjiu[1,2], GONG Zhijun[1] & QIN Boqiang[1]
(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 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *P.R.China*)

Abstract: An annual investigation of Mollusca was carried out in Lake Taihu between November 2006 and October 2007. Altogether 12 species were recorded, belonging to 12 genera of 9 families in 232 samples. The occurrence frequency of benthic Mollusca was 90.0% in 30 sampling sites. The annual average density and biomass of Mollusca in its distribution area were 266ind./m^2, 102.2g/m^2, respectively. *Corbicula fluminea* and *Bellamya aeruginosa* were the dominant species of Mollusca in Lake Taihu. The occurrence frequency of *C. fluminea* was 90.0%, and the annual average density and biomass were 174ind./m^2, 58.3g/m^2, respectively, which mainly distributed in the southwest part of Lake Taihu(393–896ind./m^2) and Gonghu Bay (393–552ind./m^2); the occurrence frequency of *B. aeruginosa* was 56.7%, and the annual average density and biomass were 58ind./m^2, 61.6g/m^2, respectively, which mainly distributed in the east part of Lake Taihu. Principal Components Analysis showed that habitat types and characteristics of sediment were the key factors determined the spatial distribution pattern of *C. fluminea*, while that of the gastropods was mainly influenced by the distribution of macrophytes, which coincided with the "mutualistic theory". Analyzing the variation of Mollusca community structure between 1987 and 2006, the results showed that the mainly distributed area of *C. fluminea* has changed from Meiliang Bay and Zhushan Bay to the central and southwest part of Lake Taihu, and the size of *C. fluminea* showed a tendency of decrease (P<0.001), while the average weight of *B. aeruginosa* did not changed remarkably (P=0.051).
Keywords: Lake Taihu; Mollusca; spatial distribution; *Corbicula fluminea*; *Bellamya aeruginosa*

---

* 国家自然科学基金项目(40730529, 30770404)和中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-YW-14)联合资助. 2008–11–15 收稿; 2009–03–09 收修改稿. 蔡永久, 男, 1985 年生, 硕士研究生; E-mail: njcai1985@163.com.
** 通讯作者; E-mail: zjgong@niglas.ac.cn.

软体动物作为湖泊生态系统的重要类群，一直为淡水生态学家所关注. 众多研究表明,软体动物在湖泊生态系统中发挥着多种重要的功能，如淡水贻贝对浮游藻类具有显著的滤食作用[1-3]，附植螺类与水生植物的互惠互利关系[4-5]，以及它们对水体营养盐含量、形态变化所起的显著作用[6-8]. 软体动物也是太湖水生生态系统的重要类群，近年来受到人类活动强烈干扰，20世纪60至70年代以来是太湖地区养殖业大发展的时期，对饵料的需求大增，导致了对太湖螺、蚬的捕捞量大增，而泵吸式捕捞更大大降低了软体动物的数量，虽及时采取了措施，软体动物数量有所上升[9]，但随着太湖水质的恶化、蓝藻水华的频频爆发，软体动物所遭受的环境及人为压力仍有增无减.

关于太湖软体动物的综合调查有过几次[10-12]，但最近的一次在1987–1988年间，已过去20多年，近年关于太湖软体动物的研究鲜有报道[13-15]. 自20世纪80年代以来，随着太湖水环境的恶化[16-18]，太湖软体动物在群落结构、空间分布方面发生了怎样的变化，不得而知. 基于这一问题，我们在2006–2007年调查了太湖软体动物，分析了现阶段太湖软体动物的组成结构、优势种类、空间分布特征，以及80年代以来太湖软体动物优势种个体大小变化，初步探讨软体动物空间分布差异的形成原因，以期为太湖生物资源的合理利用、生态环境的治理与恢复提供基础数据和科学依据.

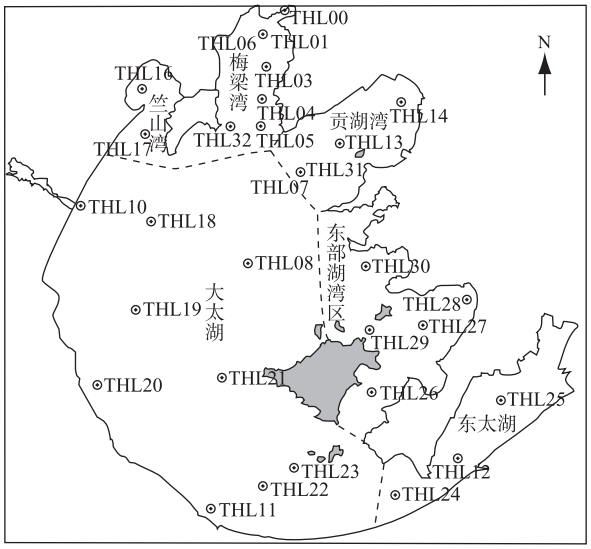


图 1 太湖软体动物采样点分布

Fig.1 Locations of the Mollusca sampling sites in Lake Taihu

1 材料与方法

1.1 采样点布设与样品采集

在太湖均匀布设30个采样点，采样周期为2006年11月至2007年10月，每季度一次，分别为2006年11月、2007年2月、2007年5月、2007年8月；同时选取30个采样点中的THL03、THL05、THL08、THL13、THL16、THL18、THL19、THL20、THL21、THL22、THL24、THL25、THL27和THL30共14个采样点加采于其余8个月份. 样品采集用1/40m^{2}改良的彼得逊采泥器，泥样经60目尼龙筛洗净后，置于白瓷盘中肉眼将动物标本挑出，标本用10%福尔马林溶液保存. 在实验室中将标本鉴定到尽可能低的分类单元[19-21]，然后计算和称重，结果最终折算成单位面积的密度和湿重生物量.

1.2 数据分析

数据统计分析利用EXCEL和SPSS13.0，主成分分析是数据进行极差(0–1)标准化. 空间分布格局利用专业地理信息系统软件 ArcGIS 9.2，在已生成的 1:50000 太湖轮廓图及样点分布图的基础上，以采样点底栖动物群落各指标为变量，利用 Kriging 插值法进行内插运算，模拟生成太湖底栖动物分布格局图. 分析优势种个体大小变化时，考虑到太湖空间异质性大，根据水体营养水平、底质状况、水草分布、风浪水平及所处地理位置等(表 1)将太湖分成二湾区(梅梁湾、竺山湾)、贡湖湾、大太湖、东部湖湾区和东太湖共五个湖区分别进行比较，并将紧靠主要河流入湖口的三个采样点(THL0、THL06、THL10)作为河口区一并进行比较.

表 1 太湖各湖区生境特征

Tab.1 Characteristics of habitat in each area of Lake Taihu

	二湾区	贡湖湾	大太湖	东部湖湾区	东太湖	河口区
营养水平(TSI)[16]	59.0±1.6	57.7±1.0	58.0±0.9	50.1±2.4	52.6±1.8	59.6±2.4
水草状况	无	无	无	斑块分布	密布	无
扰动程度	中	中	强	中–弱	弱	强
底质类型	淤泥	砂质、少量淤泥	砂质、少量淤泥	砂质、淤泥、植物碎屑	淤泥、植物碎屑	淤泥

2 结果与分析

2.1 种类组成

在一周年调查期间定量采集的232份样品种共鉴定软体动物(Mollusca)12种, 隶属于9科12属, 其中腹足纲(Gastropda)7种, 分别是铜锈环棱螺(*Bellamya aeruginosa*)、方格短钩蜷(*Semisulcospira cancellata*)、光滑狭口螺(*Stenothyra glabra*)、长角涵螺(*Alocinma longicornis*)、纹沼螺(*Parafossarulus striatulus*)、椭圆萝卜螺(*Radix swinhoei*)、旋螺(*Gyraulus* sp.); 瓣鳃纲(Lamellibranchia)软体动物3种, 分别为河蚬(*Corbicula fluminea*)、湖球蚬(*Sphaerium. lacustre*)和中国淡水蛏(*Novaculina chinensis*), 以及蚌科(Unindiae)软体动物2种(*Lamprotula leai*和*Anodonta woodiana woodiana*), 这些均为长江中下游习见种.

2.2 出现率和现存量

一周年调查结果显示, 太湖软体动物出现率为90.0%, 即能在27个采样点采集到软体动物, 分布区内软体动物的总年均密度为266ind./m^2, 年均生物量为102.2g/m^2(蚌类未计入). 表2为各类软体动物的出现率和现存量, 可以发现瓣鳃纲的河蚬和腹足纲的铜锈环棱螺是现阶段太湖软体动物的优势种. 河蚬的出现率为90.0%, 年均密度为174ind./m^2, 远高于其他种类, 年均生物量为58.3g/m^2, 居于第三位. 铜锈环棱螺的出现率为56.7%, 居于第二位, 其年均密度和生物量也较高, 分别为58ind./m^2、61.6g/m^2. 光滑狭口螺的出现率也为56.7%, 但年均密度较低, 仅为19ind./m^2, 由于个体较小年均生物量也仅为1.4g/m^2. 蚌类的出现率仅为10.0%, 但这可能并不代表蚌类的实际出现率, 这是因为蚌类个体较大、分布较稀疏, 而1/40m^2定量采泥器较难采集到蚌类, 从而可能造成与实际情况误差较大. 其他螺类出现率均低于35.0%, 仅分布在太湖的部分区域. 软体动物各种类在出现区年均密度、生物量的标准差都较平均值大很多, 而平均值又较中值大很多, 如河蚬年均密度标准差(236ind./m^2)为年均密度(174ind./m^2)的1.35倍, 而年均密度为中值的(56ind./m^2)的3.11倍, 这种差异说明软体动物在各采样点的丰度差异较大, 亦即软体动物在太湖的分布具有显著的空间差异性, 因而有必要进一步弄清软体动物在太湖的空间分布状况.

表 2 太湖软体动物的出现率和在分布区内的现存量

Tab.2 Occurrence frequency of Mollusca and its standing stock in distribution area of Lake Taihu

种类	出现率(%)	密度±标准差 (ind./m^2)	中值	生物量±标准差 (g/m^2)	中值
河蚬 *Corbicula fluminea*	90.0	174±236	56	58.3±71.8	22.4
湖球蚬 *Spaerium lacustre*	20.0	38±65	7	1.9±2.4	0.9
中国淡水蛏 *Novaculina chinensis*	10.0	3±2	3	0.3±0.1	0.3
铜锈环棱螺 *Bellamya aeruginosa*	56.7	58±76	40	61.6±70.3	41.9
方格短钩蜷 *Semisulcospira cancellata*	26.7	16±23	7	4±6	2.0
光滑狭口螺 *Stenothyra glabra*	56.7	19±22	10	1.4±4.3	0.1
长角涵螺 *Alocinma longicornis*	33.3	37±26	33	3.7±2.5	3.1
纹沼螺 *Parafossarulus striatulus*	23.3	30±22	20	4.1±3.6	2.5
椭圆萝卜螺 *Radix swinhoei*	13.3	8±3	9	0.4±0.4	0.3
旋螺 *Gyraulus* sp.	16.7	34±50	10	0.5±0.6	0.2
蚌类 *Uniondiae* spp.	10.0	7±4	7	647.4±1083.7	129.4
软体动物总计 Mollusca	90.0	266±220	170	102.2±92.9	82.5

2.3 软体动物空间分布特征

2.3.1 主成分分析 对出现软体动物的 27 个采样点进行主成分排序分析(图 2), 从样点排序图可以看出, 27 个采样点在二个主分量上得到了很好的分化, 第一轴和第二轴的解释率分别为 58.8%、24.0%, 每个群组内的采样点具有相似的物种组成, 结合采样点分布图可以看出群组Ⅰ的采样点基本都位于东太湖和东部湖湾区, 且这些采样点所在区域都是太湖水生植物集中分布区, 而群组Ⅱ包含采样点所在区域基本无水生植物分布; THL28、THL30 处于二群组过渡区, 较靠近群组Ⅰ, 这二个采样点所处区域有少量水生植物零星分布, 其物种组成也介于两群组之间; THL01、THL10 靠近河流入湖口, 在一周年调查中仅采集到二

种软体动物. 从物种排序图可以看出, 软体动物被分成了两大组, 每组内的种类具有相似的空间分布特征, 组Ⅲ的种类都属于腹足纲螺类, 组Ⅳ的种类是瓣鳃纲的河蚬和中国淡水蛏, 湖球蚬与其他软体动物空间分布不具有相似性.

综合主成分分析和实际调查结果, 可以得出: 群组Ⅰ软体动物主要以腹足纲螺类为主, 群组Ⅱ种类组成主要是瓣鳃纲软体动物(主要是河蚬), 造成两群组不同种类组成的主要原因是水生植物的分布差异, 群组Ⅰ密集的水生植物更有利于螺类的生存, 而群组Ⅱ由于缺少了螺类赖以生存的环境, 相反更加有利于滤食性瓣鳃纲软体动物的生存繁殖.

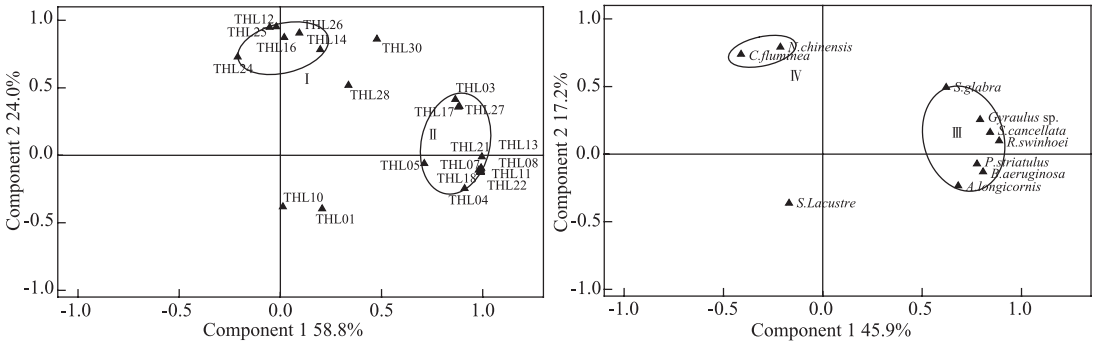


图 2 太湖软体动物主成分分析

Fig.2 Principal Components Analysis (PCA) of Mollusca in Lake Taihu

2.3.2 河蚬、铜锈环棱螺空间分布格局 为直观地了解太湖软体动物的空间分布状况, 利用 ArcGIS 9.2 模拟软体动物优势种河蚬、铜锈环棱螺的空间分布格局. 可以看出, 河蚬密度最高的是西南湖区(393–896ind./m^2)(图 3), 次高值出现贡湖湾(393–552ind./m^2), 梅梁湾、竺山湾河蚬密度较低(2–80ind./m^2), 且有从大湖面向湖湾深处有不断递减的趋势, 东太湖和东部湖湾区河蚬数量也很少(<77ind./m^2). THL22、THL23 由于是硬底、沉积物少, 不利于底栖动物的生存, 从而导致河蚬数量也很少. 铜锈环棱螺的最高值出现在东太湖(140–299ind./m^2), 远高于其他湖区, 贡湖湾和竺山湾也是其主要分布区(30–80ind./m^2), 另外在东部湖湾沿岸带也有少量铜锈环棱螺(20–50ind./m^2), 在湖心和西南湖区基本无铜锈环棱螺(<19ind./m^2).

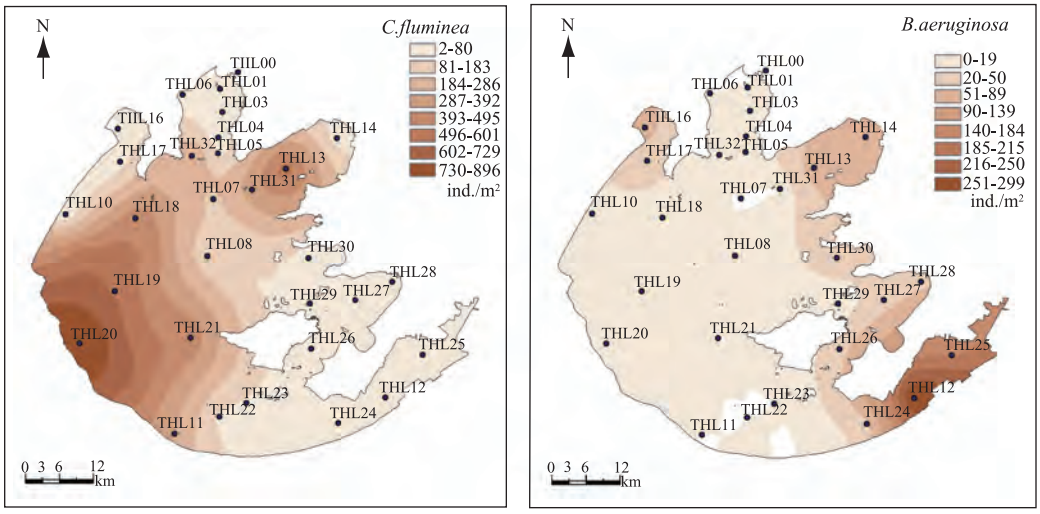


图 3 太湖河蚬、铜锈环棱螺空间分布格局图

Fig.3 Distribution patterns of *C. fluminea* and *B. aeruginosa* in Lake Taihu

比较河蚬和铜锈环棱螺的空间分布格局可以发现, 二种软体动物的主要分布区基本不重叠, 表明了它们各自具有不同的生态位.

2.4 20 年来太湖软体动物群落的变化

1987 年 5 月至 1988 年 3 月对太湖大型底栖动物有过一次较为全面的调查(采样四次, 全湖布设 39 个采样点, 其中 22 个采样点与本次调查采样点重合), 调查结果较为详细, 可与本次调查结果作比较研究 20 年来太湖软体动物群落结构的变化情况.

1987–1988年调查共发现软体动物15种[18], 种类数无显著差别, 其中10种与本次调查结果属于同一种类. 分析比较20年来河蚬在各湖区的数量可以发现, 河蚬在各湖区的丰度发生了变化, 其中二湾区和河口区1987–1988年河蚬年均密度远高于2006–2007年, 其密度分别为363ind./m^2对85ind./m^2以及359ind./m^2对20ind./m^2; 而大太湖河蚬年均密度由1987–1988年的90ind./m^2上升至2006–2007年的338ind./m^2, 河蚬的高值区域由二湾区转变为现在的大太湖; 而东太湖和东部湖湾区河蚬的年均密度无显著变化.

20年来太湖河蚬、铜锈环棱螺个体重量变化情况(图4)可以看出, 2006–2007年度河蚬个体重量曲线位于1987–1988年曲线之下, 各湖区河蚬个体重量都降低了(降幅介于0.30–0.45g/ind.), 统计分析表明20年来河蚬个体重量变化差异显著(*t*检验, $P<0.001$), 河蚬个体趋于小型化. 比较各湖区河蚬单位个体重量, 发现无论是1987年还是2006年, 两个时期东太湖河蚬个体重量最高, 显著高于其他湖区($P<0.01$), 东部湖湾区河蚬个体重量次之, 河口区河蚬个体重量最低. 铜锈环棱螺个体重量20年来变化趋势较河蚬为小($P=0.051$), 其中在梅梁湾、竺山湾铜锈环棱螺个体重量变化最大, 从3.85g/ind.降至2.29g/ind., 东部湖湾区个体重量变化居中, 东太湖降幅最低. 1987–1988年大太湖铜锈环棱螺个体均重为0.2g/ind., 而2006–2007年该区未采集到铜锈环棱螺, 河口区在二次调查中均未采集到铜锈环棱螺.

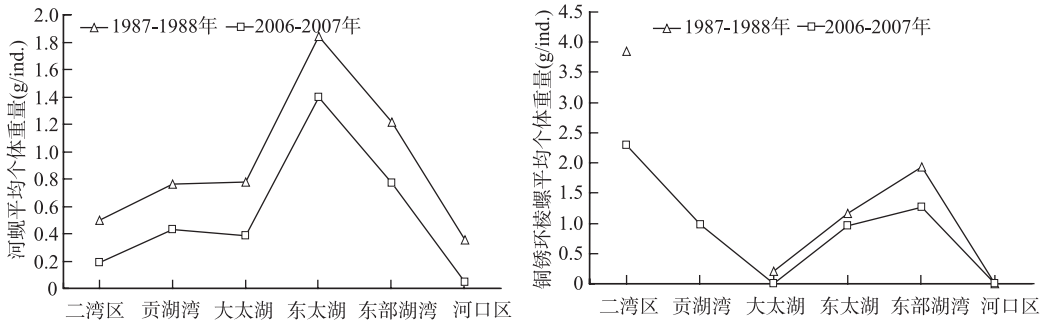


图 4 20 年来河蚬、铜锈环棱螺单位个体重量变化

Fig.4 Variation of average weight of *C. fluminea* and *B. aeruginosa*, between 1987–1988 and 2006–2007

3 讨论

湖底沉积物是底栖动物的生活场所, 底栖动物在其适应的底质中数量较多, 如栖息于不利于自身生长繁殖的生境中, 就会受到抑制并在与其他种类的竞争过程中处于不利地位且有逐渐被其他种类所取代的趋势, 如位于河口污染严重THL0、THL06, 全年采样都未发现软体动物, 相反耐污能力强的颤蚓科种类数量高达5970ind./m^2、9920ind./m^2(未发表数据). 因此, 沉积物的组成和性质是决定底栖动物分布的重要因子[22]. 另一方面, 底栖动物本身的生活特性和生理构造在很大程度上也影响着底栖动物的可分布区域, 如底栖动物的摄食对象和方法的差别决定了底栖动物在水生生态系统可占据的生态位.

河蚬是太湖软体动物的优势种类, 按摄食功能类群分, 常为过滤收集者, 主要滤食悬浮碎屑、细菌和浮游植物[23-24]. 关于底质对河蚬分布影响的研究较多, 刘俊[25]在研究湘江软体动物多样性时发现河蚬在淤泥、泥沙、砾石、粗砂、岩石都能生存, 但在沙质淤泥底质中丰度最高, 在粘土底质中数量最少. 曹文明等[14]1997年在调查太湖河蚬资源时发现其多分布于水草少、污染较轻、沙质底泥的生境中, 且在水草

较多、透明度高的区域都是河蚬的低密度分布区. Bruno调查河蚬在瑞士Rhine河的分布时发现, 河蚬最适于生活在砂质底质中(粒径0.063–2.0mm), 丰度可达到600ind./m^2[26]. 本研究中河蚬主要分布在贡湖湾和西南湖区, 已有资料表明[9,18], 这二个湖区沉积物都属于粉砂、黏土质粉砂类型, 粒径范围较广, 受风浪影响较大, 底泥扰动强烈, 含氧量较高, 沉积物的这些特征可能有利于河蚬的生长繁殖, 特别是沉积物偏粗的粒径、较高的氧浓度有利于河蚬的滤食活动, 其最大值也出现在该湖区THL20(2520ind./m^2). 北部梅梁湾、竺山湾沉积物粒径细、有机质含量高、含氧量低, 且越往湖湾深处氧化还原电位越低. 调查也发现河蚬数量从湾口向湖湾深处有不断减少的趋势, 相关分析表明沉积物Eh与河蚬数量成显著正相关(Spearman相关系数为0.829, P<0.05), 生境条件更加恶劣的河口区基本无河蚬分布. 另外在水草丰富的东太湖、东部湖湾区, 水体透明度高、浮游植物密度也较低, 可供滤食的有机物质较少, 且底质中较多的植物碎屑也可能阻碍其滤食活动, 从而可能导致河蚬的密度也较低.

腹足纲螺类常为刮食者, 但前鳃亚纲种类(铜锈环棱螺、光滑狭口螺、方格短钩蜷、长角涵螺、纹沼螺等)与肺科亚纲种类(椭圆萝卜螺、旋螺等)的生活习性是不同的, 前者具有厣和鳃, 营水生生活, 后者鳃已消失, 营两栖生活[23]. 调查中发现前鳃亚纲种类的分布面积较肺科亚纲广, 特别是大个体的铜锈环棱螺在全湖均有分布, 可能是因为铜锈环棱螺成体在底部生活, 以底栖着生藻类为食, 间食水底的一些细菌以及淤泥中的有机碎屑, 其适应性较强, 生态位宽. 肺科亚纲种类集中分布在东太湖和东部湖湾区, 在其他湖区基本无分布, 可能是因为其营两栖生活习性更适合生活于水位较浅, 含氧量较高的水体. 腹足纲螺类密度最高的是东太湖和东部湖湾区(389ind./m^2、121ind./m^2), 根据谷孝鸿、刘伟龙的野外调查[27-28]以及太湖水生植被的遥感分布图[29]可以发现: 这两个区域是现阶段太湖水生植物的主要分布区, 其他湖区水生植物分布很少. 关于螺类与水生植物之间关系的研究较多, 传统观点认为螺类主要以有机碎屑及附着藻类等为食, 且几乎不牧食水生植物本身[30], Thomas 基于自己及前人的研究工作提出了螺—草互利理论(mutualistic theory)[31], 认为螺类、附生生物与水生植物之间形成了一个互利的子系统, 且该理论一直被许多实验结果所支持[32-34]. 比较螺类和水生植物集中分布区域可以发现二者在太湖的分布格局具有高度的一致性, 这与经典的螺–草互惠理论相一致.

虽然湖泊在此其间的环境已经有了激烈的变化, 富营养化日趋严重, 20多年来太湖软体动物种类数量变化很小, 这主要是由于太湖环境复杂, 目前还存在着藻型、草型以及各种过渡区等多类型的生境[9], 这有助于软体动物多样性的维护和发展. 比较20年来软体动物优势种河蚬在各湖区的数量变化时发现, 二湾区和河口区河蚬密度显著降低, 而大太湖已成为高丰度区域, 这可能是河蚬对太湖水生态系统环境变化适应的结果. 从20世纪80年代后期, 太湖北部梅梁湾、竺山湾蓝藻频繁暴发, 而且程度愈来愈严重, 导致该区域水环境不断恶化[35-36], 其结果是湖底沉积物有机质不断增加, 含氧量降低, 水体浑浊度也大幅度升高, 这些直接限制了河蚬的生长和繁殖[37]. 而在大太湖, 藻类和有机颗粒物等食物资源随着富营养化加剧更加丰富, 加之该水域底层含氧丰富[9], 因而逐渐成为河蚬丰度较高的区域. 20年来太湖河蚬、铜锈环棱螺都趋于小型化发展, 而河蚬小型化尤为明显. 太湖河蚬小型化很可能是人为捕捞的结果, 由于河蚬是重要的水产资源, 经济利益的诱惑直接导致了周边地区的过度捕捞, 再加之捕捞工具和手段的不断发展(泵吸式)使得小个体河蚬也难逃一劫, 因此从整体上来看无论是数量还是个体大小太湖河蚬均有明显的下降趋势. 各湖区中东太湖河蚬个体较大, 可能是由于东太湖是水生植物的集中分布区, 在一定程度上限制了捕捞船的工作, 客观上保护了河蚬的生长和繁殖.

4 参考文献

[1] Bastviken DTE, Craco NF, Cole JJ. Experimental measurements of zebra mussel (*Dressena polymorpha*) impacts on phytoplankton community composition. *Freshwater Biology*, 1998, **39**: 375-386.

[2] Reeders HH, A bij de Vaate, Slim FJ. Filtration rate of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia) in three Dutch lakes with reference to biological water quality management. *Freshwater Biology*, 1989, **22**(1): 133-141.

[3] Lavrentyev PJ, Gardner WS, Cavaletto JF *et al*. Effects of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha* Pallas) on protozoa and phytoplankton in Saginaw Bay, Lake Huron. *Journal of Great Lakes Research*, 1995, **21**(4): 545-557.

[4] Underwood GJC. Growth enhancement of the macrophyte *Ceratophyllum demersum* in the presence of the snail *Planorbis planorbis*: the effect of grazing and chemical conditioning. *Freshwater Biology*, 1991, **26**: 325-334.

[5] Jones JI, Young JO, Haynes GM *et al*. Do submerged aquatic plants influence their periphyton to enhance the growth and reproduction of invertebrate mutualists? *Oecologia*, 1999, 120: 463-474.

[6] Lavrentyev PJ, Gardner WS, Longyuan Yang. Effects of the zebra mussel on nitrogen dynamics and the microbial community at the sediment-water interface. *Aquatic Microbial Ecology*, 2000, **21**: 187-194.

[7] Arnott DL, Vanni MJ. Nitrogen and phosphorus cycling by the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in the western basin of Lake Erie. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1996, **53**: 646.

[8] 刘健康. 东湖生态学研究(一). 北京: 科学出版社, 1990: 129-151.

[9] 秦伯强, 胡维平, 陈伟民等. 太湖水环境演化过程与机理. 北京: 科学出版社, 2004: 1-283.

[10] 中国科学院南京地理研究所. 太湖综合调查初步报告. 北京: 科学出版社, 1965: 57-62.

[11] 太湖环境质量调查研究组. 太湖水环境质量调查研究. 上海师范学院学报(环境保护专集), 1982: 98-115.

[12] 蔡启铭主编. 太湖环境生态研究(一). 北京: 气象出版社, 1998: 125-133.

[13] 陈文海, 周汉书. 太湖螺蚬资源及其增殖. 淡水渔业, 1989, (2): 24-26.

[14] 曹文明, 周 刚, 盛建明等. 太湖河蚬资源现状及演变. 南京林业大学学报(自然科学版), 2000, (S1): 125-128.

[15] 陈立侨, 刘 影, 杨再福等. 太湖生态系统的演变与可持续发展. 华东师范大学学报(自然科学版), 2003, (4): 99-106.

[16] 朱广伟. 太湖富营养化现状及原因分析. 湖泊科学, 2008, **20**(1): 21-26.

[17] Qin Boqiang, Xu Pengzhu, Wu Qinglong *et al*. Environmental issues of Lake Taihu, China. *Hydrobiologia*, 2007, **581**: 3-14.

[18] 黄漪平. 太湖水环境及其污染控制. 北京: 科学出版社, 2001.

[19] 何志辉, 严生良, 杨和荃等. 淡水生物学(上册 分类学部分). 北京: 农业出版社, 1982: 181-334.

[20] 刘月英, 张文珍, 王跃先等. 中国经济动物志淡水软体动物. 北京: 科学出版社, 1979.

[21] Morse JC, Yang L, Tian L. Aquatic insects of China useful for monitoring water quality. Nanjing: Hohai University Press, 1994.

[22] 何志辉主编. 淡水生态学. 北京: 中国农业大学出版社, 2000: 63-64.

[23] 刘建康主编. 高级水生生物学. 北京: 科学出版社, 1998: 241-259.

[24] Balcom NC. Aquatic Immigrants of the Northeast, No. 4: Asian Clam, Corbicula fluminea. Connecticut Sea Grant College Program, 1994.

[25] 刘 俊. 湘江软体动物多样性研究[学位论文]. 长沙: 湖南师范大学, 2006.

[26] Stephanie S, Baurno B. Distribution and substrate preference of the invasive clam Corbicula fluminea in the river Rhine in the region of Basel (Switzerland, Germany, France). *Aquatic Sciences*, 2007, **69**(1): 153-161.

[27] 刘伟龙, 胡维平, 陈永根等. 西太湖水生植物时空变化. 生态学报, 2007, (1).

[28] 谷孝鸿, 张圣照, 白秀玲等. 东太湖水生植物群落结构的演变及其沼泽化. 生态学报, 2005, (7).

[29] 张寿选, 段洪涛, 谷孝鸿. 基于水体透明度反演的太湖水生植被遥感信息提取. 湖泊科学, 2008, **20**(2): 184-190.

[30] Reavell PE. A study on the diets of some British freshwater gastropods. *Journal of Conchology*, 1980, **30**: 253-271.

[31] Thomas JD. Mutualistic interactions in freshwater modular systems with molluscan components. *Advances in Ecological Research*, 1990, **20**: 125-178.

[32] Brönmark C. How do herbivorous freshwater snails affect macrophyte?—A comment. *Ecology*, 1990, **71**(3): 1212-1215.

[33] Brönmark C. Interactions between macrophytes, epiphytes and herbivores: an experimental approach. *Oikos*, 1985, **45**: 26-30.

[34] Jones JI, Sayer CD. Does the fish-invertebrate-periphyton cascade precipitate plant loss in shallow lakes? *Ecology*, 2003, **84**: 2155-2167.

[35] Sousa R, Antunes C, Guilhermino L. Factors influencing the occurrence and distribution of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in the River Lima estuary. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 2006, **42**: 165-171.

[36] Sousa R, Rufino M, Gaspar M *et al*. Abiotic impacts on spatial and temporal distribution of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in the River Minho Estuary, Portugal. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2008, **18**: 98-110.

[37] Chen Yuwei, Fan Chengxin, Teubner K *et al*. Changes of nutrients and phytoplankton chlorophyll-a in a large shallow lake, Taihu, China: an 8-year investigation. *Hydrobiologia*, 2003, **506/509**: 273-279.