

太湖蚌类现存量及空间分布格局*

薛涛涛¹, 刘雄军², 武瑞文¹, 欧阳珊¹, 吴小平^{1**}

(1: 南昌大学生命科学学院, 南昌 330031)

(2: 南昌大学资源环境与化工学院, 南昌 330031)

摘要: 于2016年10月和2017年10月对太湖全湖8个湖区129个样点的蚌类进行调查, 分析蚌类的物种组成、现存量、空间分布及历史变化。共采集到蚌类704个个体, 隶属8属14种。全湖蚌类平均生物量和密度分别为 $4.169 \pm 9.337 \text{ g/m}^2$ 和 $0.164 \pm 0.386 \text{ ind./m}^2$; 各湖区蚌类平均生物量和密度差异较大, 东部沿岸区生物量和密度最高, 分别为 $14.975 \pm 16.743 \text{ g/m}^2$ 和 $0.577 \pm 0.758 \text{ ind./m}^2$; 湖心区生物量和密度最低, 仅为 $0.727 \pm 1.622 \text{ g/m}^2$ 和 $0.029 \pm 0.071 \text{ ind./m}^2$ 。扭蚌(*Arconaia lanceolata*)、圆顶珠蚌(*Unio douglasiae*)和背角无齿蚌(*Anodonta woodiana woodiana*)为太湖现阶段的优势种。基于蚌类平均密度的聚类分析, 8个湖区分为3类。与历史数据相比, 太湖蚌类资源呈明显衰退趋势, 现状不容乐观, 需加强对太湖蚌类的保护和资源的有效管理。

关键词: 太湖; 蚌类; 现存量; 空间分布

Standing stock and spatial distribution pattern of unionids in Lake Taihu, China

XUE Taotao¹, LIU Xiongjun², WU Ruiwen¹, OUYANG Shan¹ & WU Xiaoping^{1**}

(1: School of Life Sciences, Nanchang University, Nanchang 330031, P.R.China)

(2: School of Resource, Environment and Chemical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, P.R.China)

Abstract: To analyze the species composition, standing stock, spatial distribution and historical change of unionids, two investigations were carried out at 129 sites in eight areas of Lake Taihu in October 2016 and October 2017. A total of 704 unionid individuals were collected, belonging to 8 genera and 14 species. The mean biomass and density of unionids were $4.169 \pm 9.337 \text{ g/m}^2$ and $0.164 \pm 0.386 \text{ ind./m}^2$, respectively. The mean biomass and density differed significantly among the areas in Lake Taihu. The biomass and density were highest in eastern lakeshore area, with the values of $14.975 \pm 16.743 \text{ g/m}^2$ and $0.577 \pm 0.758 \text{ ind./m}^2$, respectively. The lowest biomass and density were recorded in central area of Lake Taihu with the values of $0.727 \pm 1.622 \text{ g/m}^2$ and $0.029 \pm 0.071 \text{ ind./m}^2$, respectively. The *Arconaia lanceolata*, *Unio douglasiae* and *Anodonta woodiana woodiana* were dominant species in Lake Taihu. The eight areas of Lake Taihu were classified into three groups based on cluster analysis using mean density of unionids. Compared to historical data, the unionid resources appeared an obvious decline, which suggested an effective management and conservation of unionids in Lake Taihu be strengthened.

Keywords: Lake Taihu; unionids; standing stock; spatial distribution

蚌类隶属软体动物门(Mollusca), 双壳纲(Bivalvia), 蚌目(Unionida), 广泛分布于河流、湖泊、池塘、沟渠等淡水水域^[1]。蚌类生物量在底栖动物中往往占优势, 是水生动物的的重要组成部分, 在淡水生态系统中起着十分重要的作用^[2-3]。蚌类不仅是生态系统物质循环和能量流动过程中的重要环节, 且在水质净化、营养物质储存、栖息地构建、环境指示等方面也起着举足轻重的作用^[4-6]。然而, 近几十年来, 由于日益加剧的自然和人为因素的干扰, 如全球气候变暖、江湖阻隔、栖息地破坏和丧失、水利设施建造、水体污染等, 蚌类已经成为世界上最濒危的水生动物类群之一^[2,7-9]。世界自然保护联盟(IUCN, 2015)的数据显示全球范围内蚌类

* 国家自然科学基金项目(31772412)和南昌大学研究生创新项目(cx2016187)联合资助。2018-02-10 收稿; 2018-03-19 收修改稿。薛涛涛(1990~), 男, 硕士研究生; E-mail: 1147240255@qq.com.

** 通信作者; E-mail: xpwu@ncu.edu.cn.

受威胁物种以每年 21% 的速率逐年增加,截止到 2015 年已经达到了 224 种. 在过去 100 年,北美大约有 30 种蚌类已经灭绝,并且幸存的当中有 65% 处于易危或严重受威胁状态^[10]. 舒风月等^[11]对我国长江中下游主要湖泊的淡水贝类进行了濒危评估,结果显示有 21 种蚌处于受威胁状态,8 种处于近危状态,濒危形势十分严峻. 目前,蚌类的生存状况已经受到广泛关注,对其进行及时有效的保护刻不容缓.

长江中下游地区拥有世界上独特的浅水湖泊群,具有复杂的生境异质性,孕育了丰富的蚌类物种,是世界蚌类的集中分布区之一^[12-14]. 由于蚌类一般个体较大,分布密度低,定量采泥器不易采集到,因此以往对该类动物的定量研究较少,长江中下游许多湖泊缺乏蚌类的定量资料,仅见熊六凤等^[15]对鄱阳湖蚌类的定量调查.

太湖是中国第三大淡水湖,历史上蚌类资源极为丰富^[16]. 但长期以来随着太湖周边地区经济的快速发展以及人口的急剧增长,大量工业废水及生活污水被排入湖泊,导致水体污染、富营养化加剧,水质呈不断下降趋势^[17],加上过度捕捞和不当捕捞等人为因素,严重影响了太湖的蚌类资源和物种多样性. 关于太湖蚌类的研究,早期研究者多关注其分类及区系^[12,16],共记录蚌科(Unionidae)物种 26 种及亚种. 此外,蔡永久等^[18-19]和许浩等^[20]在调查太湖底栖动物时报道过一些蚌类物种.

因此,系统调查太湖蚌类资源现状不仅能提供该湖泊蚌类重要的定量数据,也能了解近几十年来太湖蚌类空间分布的变化. 同时,通过了解太湖蚌类的现存量及空间分布格局,可以为太湖蚌类的保护及湖泊生态系统的有效管理提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区域及样点设置

太湖(30°56'~31°34'N,119°54'~120°36'E)位于长江三角洲的南缘,是中国五大淡水湖之一,湖泊面积 2338 km²,平均水深 1.9 m^[21]. 太湖可分为多个湖区,竺山湾和梅梁湾位于太湖北部,受污染程度较严重,叶绿素 a、硝态氮、氨氮浓度等富营养化相关因子均明显高于其他湖区^[22];东太湖为水产养殖区,该区域为太湖主要泄洪通道,泥沙淤积严重,水生植物生长旺盛,呈现出明显的沼泽化趋势^[21];东部沿岸区和贡湖的水质则明显好于其他湖区;南部沿岸区由于旅游开发等原因,使得湖区底质类型、周围生境等发生了较大改变;湖心区受风流影响较大,底质主要为泥沙,鲜有植物能生长^[21].

根据各湖区环境特征,并结合前人对太湖的分区^[22-23],将太湖分为 8 个湖区设置样点. 其中竺山湾 3 个样点、梅梁湾 6 个样点、贡湖 10 个样点、东部沿岸区 20 个样点、东太湖 5 个样点、南部沿岸区 25 个样点、西部沿岸区 11 个样点、湖心区 49 个样点,总计 129 个样点(图 1).

1.2 样本采集

2016 年 10 月调查了太湖的竺山湾、梅梁湾、西部沿岸区、部分南部沿岸区及大部分湖心区共 74 个样点;2017 年 10 月调查了贡湖、东部沿岸区、东太湖、部分南部沿岸区及部分湖心区共 55 个样点. 定量采集用自制蚌耙(耙宽为 60 cm),蚌耙一端用绳索固定在船上,以均匀速度缓慢拖行 50 m(采样面积为 30 m²),泥样经冲洗后,倒入白瓷盘中分拣样本,活体与空壳标本分别装入塑料袋带回室内分析. GPS 记录各采样点地理坐标,并记录采样点的水草和底质情况. 除定量采集外,在湖岸边辅以抄网和手拣等定性采集.

1.3 标本处理

实验室鉴定并计数各样点蚌类种类和数量. 活体样本称重(精确到 0.01 g)并测量壳长、壳宽、壳高等形态学参数(精确到 0.01 mm).

1.4 数据分析

采用相对丰度划定蚌类的优势种,公式为:

$$R_i = n_i / N \times 100\% \quad (1)$$

式中, R_i 为第 i 种标本的相对丰度, n_i 为第 i 种的个体数, N 为该群落总个体数, R_i 值 10% 以上为优势种.

样点分布图采用 ArcGIS 10.2 和 Adobe Photoshop CS6 绘制.

Shapiro-Wilk 检验表明太湖 8 个湖区蚌类的生物量和密度不服从正态分布,即不满足方差分析的条件,因此采用非参数检验中的 Kruskal-Wallis 检验分析不同湖区蚌类生物量和密度的差异.

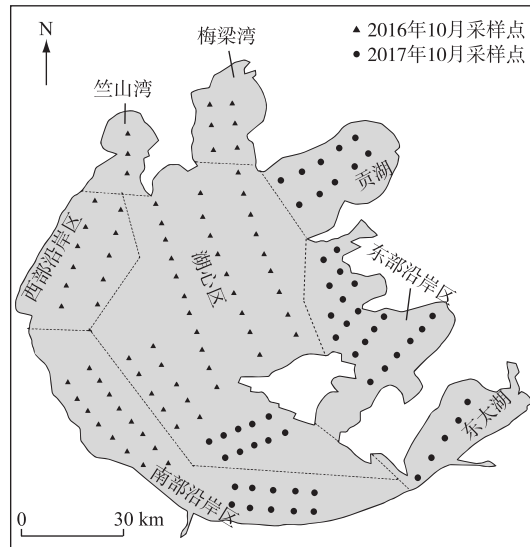


图1 太湖样点分布

Fig.1 Distribution of sampling sites in Lake Taihu

基于太湖8个湖区蚌类的平均密度通过欧式距离法进行聚类分析. 数据分析利用 SPSS 22 和 Excel 2013 软件.

2 结果

2.1 物种组成及空间分布

此次调查共采集到蚌类样本 704 个, 其中活体 586 个, 所占比例为 83.2%. 经鉴定有蚌科物种 8 属 14 种, 含中国特有种 6 种(表 1). 无齿蚌属物种最多, 有 5 种(35.7%), 丽蚌属和矛蚌属各 2 种(14.3%), 裂脊蚌属、扭蚌属、帆蚌属、珠蚌属、冠蚌属各 1 种(7.1%). 14 种蚌均采集到活体. 扭蚌、射线裂脊蚌、短褶矛蚌、真柱矛蚌、舟形无齿蚌和背瘤丽蚌为长江中下游湖泊的濒危物种^[11].

太湖各湖区蚌类物种多样性和丰度有所差异, 尤其是东部沿岸区与其他湖区差异显著. 由表 1 可以看出, 东部沿岸区共采集到蚌 11 种 346 个个体, 物种数和个体数分别占采集总数的 73.3% 和 49.1%, 该区域的优势种为扭蚌, 相对丰度达到 30.3%; 其次为贡湖, 共采集到 10 种 115 个个体; 东太湖蚌类种类和个体数较少, 仅采集到 3 种 11 个个体. 从分布看, 背角无齿蚌和圆顶珠蚌最为广泛, 8 个湖区均有分布, 仅个别湖区个体数少或采集到空壳; 扭蚌分布于除东太湖外的其余 7 个湖区, 且在其中 5 个湖区(竺山湾、贡湖、东部沿岸区、西部沿岸区和湖心区)占有最大相对丰度. 而射线裂脊蚌和椭圆背角无齿蚌仅见于东部沿岸区的少数样点.

2.2 现存量

太湖各湖区蚌类平均生物量为 $4.169 \pm 9.337 \text{ g/m}^2$, 密度为 $0.164 \pm 0.386 \text{ ind./m}^2$ (表 2). 经 Kruskal-Wallis 检验显示 8 个湖区蚌类平均生物量和密度差异极显著($P < 0.01$). 东部沿岸区平均生物量和密度最高, 分别为 $14.975 \pm 16.743 \text{ g/m}^2$ 和 $0.577 \pm 0.758 \text{ ind./m}^2$, 远高于全湖平均水平, 其中一个样点的生物量和密度分别达到了 60.085 g/m^2 和 3.331 ind./m^2 ; 次高值出现在贡湖, 分别为 $9.184 \pm 9.639 \text{ g/m}^2$ 和 $0.416 \pm 0.443 \text{ ind./m}^2$. 湖心区的生物量和密度均最低, 仅为 $0.727 \pm 1.622 \text{ g/m}^2$ 和 $0.029 \pm 0.071 \text{ ind./m}^2$.

不同物种在太湖各湖区的现存量差异较大. 全湖平均密度较高的物种依次为扭蚌(0.067 ind./m^2)、圆顶珠蚌(0.030 ind./m^2)和背角无齿蚌(0.026 ind./m^2); 生物量较高的分别为扭蚌(1.366 g/m^2)、背角无齿蚌(0.820 g/m^2)和背瘤丽蚌(0.741 g/m^2). 这几个物种为太湖蚌类现存量主要组成部分. 其中扭蚌生物量和密

表1 太湖蚌类物种组成、丰度和空间分布*

Tab.1 The species composition, abundance and distribution of unionids in Lake Taihu

种类	竺山湾	梅梁湾	贡湖	东部沿岸区	东太湖	南部沿岸区	西部沿岸区	湖心区	中国特有种
蚌科 Unionidae									
I 无齿蚌属 <i>Anodonta</i>									
1.背角无齿蚌 <i>A. woodiana woodiana</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	
2.椭圆背角无齿蚌 <i>A. woodiana elliptica</i>				+					
3.舟形无齿蚌 <i>A. euscaphys</i>	+		+		+	+	+		
4.河无齿蚌 <i>A. fluminea</i>			+	+			+		√
5.蜡形无齿蚌 <i>A. arcaeformis</i>			+						
II 丽蚌属 <i>Lamprotula</i>									
6.背瘤丽蚌 <i>L. lei</i>			+	+				+	√
7.洞穴丽蚌 <i>L. caveata</i>				+		+			
III 矛蚌属 <i>Lanceolaria</i>									
8.短褶矛蚌 <i>L. grayana</i>				+		+			
9.真柱矛蚌 <i>L. eucylindrica</i>			+			+			√
IV 冠蚌属 <i>Cristaria</i>									
10.褶纹冠蚌 <i>C. plicata</i>	+	+	+	+		+	+		
V 帆蚌属 <i>Hyriopsis</i>									
11.三角帆蚌 <i>H. cumingii</i>	+	+	+	+		+	+	+	√
VI 珠蚌属 <i>Unio</i>									
12.圆顶珠蚌 <i>U. douglasiae</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	
VII 扭蚌属 <i>Arconaia</i>									
13.扭蚌 <i>A. lanceolata</i>	+	+	+	+		+	+	+	√
VIII 裂脊蚌属 <i>Schistodesmus</i>									
14.射线裂脊蚌 <i>S. lampreyanus</i>				+					√
总物种数	6	5	10	11	3	9	7	5	
个体数量	19	12	115	346	11	20	64	43	

*“+”表示该湖区存在该物种;“√”表示该物种为中国特有种。

度均远高于其他物种;射线裂脊蚌、洞穴丽蚌、椭圆背角无齿蚌、真柱矛蚌密度最低,均为 0.001 ± 0.001 ind./m²;舟形无齿蚌生物量最低,为 0.012 ± 0.024 g/m²。从湖区看,各优势物种在不同湖区的现存量也有明显差异,扭蚌在贡湖的平均密度和生物量最高,分别达到了 0.193 ± 0.185 ind./m² 和 4.100 ± 4.381 g/m²,为全湖平均水平的 2.9 和 3.0 倍,但该物种在东太湖未出现;背角无齿蚌在东太湖的平均密度和生物量最高,分别为 0.060 ± 0.083 ind./m² 和 2.895 ± 4.296 g/m²,而在竺山湾未出现;圆顶珠蚌在东部沿岸区的平均密度和生物量最高,分别为 0.140 ± 0.276 ind./m² 和 1.155 ± 1.882 g/m²,而在南部沿岸区和西部沿岸区均未出现(表 3)。

2.3 物种出现率、相对丰度及优势种

在 129 个样点中有 68 个样点采集到蚌,出现率为 52.71%。其中,扭蚌出现率最高,为 36.43%,出现率大于

表2 太湖各湖区蚌类物种生物量和密度

Tab.2 The biomass and density of unionids in each area of Lake Taihu

区域	密度/(ind./m ²)	生物量/(g/m ²)
竺山湾	0.211±0.104	3.685±3.982
梅梁湾	0.067±0.106	1.679±4.114
贡湖	0.416±0.443	9.184±9.639
东部沿岸区	0.577±0.758	14.975±16.743
东太湖	0.073±0.091	6.768±12.577
南部沿岸区	0.029±0.037	1.085±2.982
西部沿岸区	0.167±0.335	2.962±7.076
湖心区	0.029±0.071	0.727±1.622
全湖	0.164±0.386	4.169±9.337

表 3 太湖 8 个湖区不同蚌类现存量*
Tab.3 The standing stock of different unionids species in eight areas of Lake Taihu

物种	竺山湾	梅梁湾	贡湖	东部沿岸区	东太湖	南部沿岸区	西部沿岸区	湖心区	全湖
扭蚌	D 0.089±0.084	0.006±0.013	0.193±0.185	0.167±0.131	0	0.024±0.088	0.036±0.110	0.022±0.056	0.066±0.079
背角无齿蚌	B 1.400±1.608	0.212±0.518	4.100±4.381	4.029±3.288	0	0.346±0.946	0.987±3.221	0.556±1.263	1.366±0.239
圆顶珠蚌	D 0.022±0.039	0.011±0.027	0.043±0.079	0.037±0.068	0.060±0.083	0.003±0.009	0.036±0.092	0.001±0.007	0.026±0.020
褶纹冠蚌	B 1.239±2.146	1.187±2.907	0.582±0.890	2.179±4.113	2.895±4.296	0.249±0.945	0.655±1.809	0.138±0.773	0.820±0.284
三角帆蚌	D 0.011±0.019	0.006±0.013	0.037±0.060	0.140±0.276	0.007±0.015	0	0	0.001±0.007	0.030±0.050
背瘤丽蚌	B 0.906±1.569	0.208±0.510	0.478±0.825	1.155±1.882	0.211±0.471	0	0	0.009±0.050	0.261±0.182
短褶矛蚌	D 0	0	0.047±0.057	0.017±0.023	0	0.001±0.007	0.033±0.010	0	0.011±0.018
舟形无齿蚌	B 0	0	2.361±3.491	2.026±3.538	0	0.167±0.837	0.431±1.429	0	0.585±0.172
河无齿蚌	D 0	0.006±0.013	0.003±0.010	0.013±0.027	0	0.001±0.007	0.042±0.092	0.001±0.007	0.016±0.021
蚌形无齿蚌	D 0	0.073±0.178	0.718±2.271	1.529±3.536	0	0.133±0.567	0.305±0.563	0.114±0.595	0.421±0.152
洞穴丽蚌	B 0	0	0.007±0.013	0.096±0.203	0	0	0	0.002±0.008	0.013±0.034
真柱矛蚌	D 0	0	0.265±0.540	4.412±6.744	0	0	0	0.172±0.806	0.741±0.276
椭圆背角无齿蚌	B 0	0	0	0	0.033±0.084	0.04±0.015	0	0	0.006±0.015
射线裂脊蚌	D 0	0	0	0	0.366±0.656	0.260±1.246	0	0	0.061±0.024
	B 0	0	0	0	0	0	0.027±0.071	0	0.018±0.025
	D 0	0	0	0	0	0	0.145±0.394	0	0.012±0.024
	B 0	0	0.010±0.023	0.002±0.007	0	0	0.003±0.010	0	0.002±0.004
	D 0	0	1.319±2.796	0.168±0.750	0	0	0.154±0.180	0	0.136±0.076
	B 0	0	0.017±0.024	0	0	0	0	0	0.002±0.006
	D 0	0	0.263±0.345	0	0	0	0	0	0.025±0.0245
	B 0	0	0	0.002±0.007	0.002±0.008	0	0	0	0.001±0.001
	D 0	0	0	0.016±0.072	0.023±0.115	0	0	0	0.017±0.013
	B 0	0	0.007±0.021	0	0.003±0.013	0	0	0	0.001±0.003
	D 0	0	0.006±0.018	0	0.197±0.987	0	0	0	0.039±0.038
	B 0	0	0	0.004±0.015	0	0	0	0	0.001±0.001
	D 0	0	0	0.306±1.367	0	0	0	0	0.131±0.131
	B 0	0	0	0.002±0.007	0	0	0	0	0.001±0.001
	D 0	0	0	0.028±0.127	0	0	0	0	0.132±0.004

* D 表示密度 (ind./m²); B 表示生物量 (g/m²).

10%的物种还有背角无齿蚌(22.48%)、圆顶珠蚌(16.28%)、褶纹冠蚌(15.50%)、三角帆蚌(13.95%)和背瘤丽蚌(10.85%);椭圆背角无齿蚌和射线裂脊蚌只在—个样点分布,出现率仅为0.78%(图2)。

由图2可知,扭蚌的相对丰度达到了35.53%,其次为圆顶珠蚌(18.55%)、背角无齿蚌(12.42%),3个物种的相对丰度均大于10%,为现阶段太湖的优势种;其余物种相对丰度均小于10%。其中,射线裂脊蚌只采到1个个体,相对丰度仅为0.16%。

2.4 壳长分布

分析太湖蚌类7个主要物种的壳长频率分布发现(表4),扭蚌的优势壳长组为50~110 mm,平均壳长97.46 mm,最大壳长120.26 mm,最小壳长6.31

mm;圆顶珠蚌优势壳长组为20~60 mm,平均壳长42.48 mm,最大壳长为85.35 mm,最小壳长只有23.67 mm;其余物种中,短褶矛蚌优势壳长组为50~80 mm,最大壳长77.42 mm,最小壳长32.97 mm;背瘤丽蚌优势壳长组为30~90 mm,平均壳长61.25 mm,最大壳长105.97 mm,最小壳长24.30 mm;三角帆蚌优势壳长组为30~60 mm,最大壳长178.26 mm,最小壳长31.12 mm,幼体数量较多;褶纹冠蚌优势壳长组为40~170 mm,平均壳长102.22 mm,最大壳长165.55 mm,最小壳长为44.11 mm;背角无齿蚌优势壳长组为30~90 mm,最大壳长135.26 mm,最小壳长26.35 mm,幼体数量要多于成体。

从7种蚌的种群壳长组分布看,扭蚌、圆顶珠蚌、短褶矛蚌和背瘤丽蚌的壳长基本呈正态分布,且种群中幼小个体占有一定的比例,种群结构较为稳定;而背角无齿蚌、三角帆蚌和褶纹冠蚌种群中则表现为幼小个体和大个体所占比例较大,中等大小的个体所占比例较小,推测其种群结构较不稳定。

表4 太湖蚌类7个主要物种的壳长分布

Tab.4 The shell length distribution of 7 major species of unionids in Lake Taihu

物种	个数(N)	最大壳长/mm	最小壳长/mm	平均壳长/mm	优势壳长组/mm
扭蚌	226	120.26	6.31	97.46	50~110
圆顶珠蚌	109	85.35	23.67	42.48	20~60
背瘤丽蚌	59	105.97	24.30	61.25	30~90
三角帆蚌	49	178.26	31.12	97.46	30~60
背角无齿蚌	44	135.26	26.35	66.36	30~90
褶纹冠蚌	32	165.55	44.11	102.22	40~170
短褶矛蚌	29	77.42	32.97	59.49	50~80

2.5 聚类分析

聚类分析将8个湖区分为3类(图3),其中贡湖和东部沿岸区聚为一类,竺山湾和西部沿岸区聚为一类,梅梁湾、东太湖、南部沿岸区和湖心区聚为一类。结合实际采样情况,贡湖和东部沿岸区不仅蚌类物种最为丰富,而且生物量和密度均较高。从湖区环境特点看,两个湖区的水质情况较好、受干扰程度明显低于其他湖区,这可能是蚌类较为丰富的主要原因。而竺山湾和西部沿岸区地理位置相邻,属于富营养化较为严重的水域,蚌类物种数量及密度都较低;其余4个湖区聚为一类,除了它们的水质情况较为相似外,它们的采样情况也基本一样,都只有很少的蚌分布,尤其是生物量和密度均处于较低水平。

3 讨论

历史上,太湖的蚌类资源较为丰富。但近几十年来,由于各种因素的影响,太湖蚌类资源已经发生了较大变化。早期 Heude(1875—1886年)、Annandale(1918年)、宫地傅三郎(1944年)、大山桂(1944年)、郎所

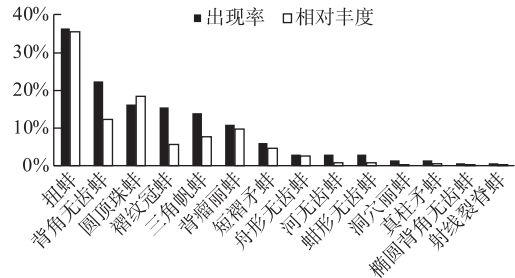


图2 太湖蚌类物种出现率及相对丰度

Fig.2 The occurrence frequency and relative abundance of unionids in Lake Taihu

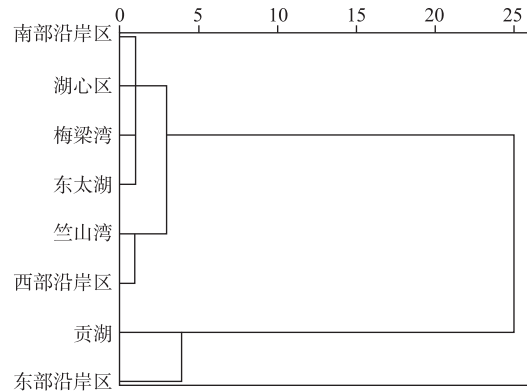


图3 太湖8个湖区蚌类平均密度聚类分析

Fig.3 Cluster analysis of mean density of unionids assemblages in eight areas of Lake Taihu

等(1959年)、中国科学院南京地理研究所太湖资源调查队(1966年)等先后报道了蚌科(Unionidae)物种15种^[16]。此后,刘月英等^[15]对太湖流域的淡水双壳类进行了一次较为全面地调查,报告了太湖湖区蚌科物种23种,16种为我国特有种,优势种为背瘤丽蚌、射线裂脊蚌、三角帆蚌、圆顶珠蚌、扭蚌、褶纹冠蚌、背角无齿蚌、江无齿蚌等。湖区的蚌类主要分布在无锡、苏州等邻近湖区。吴小平^[12]记录了太湖蚌科物种22种。综合历史数据,太湖共记录蚌科物种26种及亚种。

此次调查记录太湖蚌类8属14种,与历史数据相比,物种丰富度明显降低,之前有记录的薄壳丽蚌、长丽蚌、椭圆丽蚌、失衡尖丽蚌、绢丝尖丽蚌、橄榄蛭蚌、高顶鳞皮蚌、巨首楔蚌、中国尖嵴蚌、剑状矛蚌、黄色蚌形无齿蚌、圆背角无齿蚌、江无齿蚌、光滑无齿蚌等物种在本次调查中均未采集到,尤其是我国特有的丽蚌属物种减少较多,除背瘤丽蚌和洞穴丽蚌外,其余物种已经难觅踪迹。优势种也由原来的8种减少为现阶段的3种:扭蚌、圆顶珠蚌和背角无齿蚌均为分布广泛的物种。而具有重要经济价值且为我国特有种的薄壳丽蚌、长丽蚌、椭圆丽蚌、失衡丽蚌、橄榄蛭蚌和三角帆蚌等物种在本次调查中多数未发现或数量明显减少。从分布看,本次调查中太湖蚌类主要分布于东部沿岸区和贡湖,与刘月英等记录的主要分布的苏州邻近湖区为相同水域,该区域水质良好,且底质多为泥沙,蚌类资源一直较为丰富;而以往报道的无锡附近的湖区即竺山湾、梅梁湾区域有大量蚌类分布^[16],本次调查发现蚌类物种数量、密度和生物量均较低,可见蚌类资源明显下降,可能与该湖区富营养化程度加剧、水体环境发生变化及沉积物和水体中含氧量明显降低有关^[24]。

蚌类现存量的资料较为缺乏。熊六凤等^[16]曾报道通江湖泊鄱阳湖蚌类有14属40种,平均密度和生物量分别为 $0.28 \pm 0.22 \text{ ind./m}^2$ 和 $4.08 \pm 3.96 \text{ g/m}^2$ 。与其相比,太湖蚌类物种数(14种)和平均密度($0.16 \pm 0.39 \text{ ind./m}^2$)均较低,并且14种蚌在鄱阳湖中均有分布。因此,无论从历史上,还是与其他湖泊相比,太湖蚌类的物种丰富度和现存量都不容乐观,很多物种处于受威胁状态,需要引起相关部门更多关注。

受多种因素的影响,太湖蚌类分布具有明显的空间异质性。在东部沿岸区和贡湖水域,叶绿素a、总磷、总氮、硝态氮、氨氮等营养因子浓度均处于较低水平,水质情况良好^[22];这些湖区底质主要为泥沙,其粒径范围较广,氧气含量较高^[25]。此外,这两个湖区有斑块分布的水草^[18],底质稳定,是蚌偏好的生境类型^[26-27]。显然,这两个湖区的环境因素有利于蚌类的生长繁殖,蚌类物种数量、生物量和密度均为全湖最高。在竺山湾和西部沿岸区的水体中叶绿素a、总磷、总氮、硝态氮、氨氮等营养盐因子浓度较高,富营养化程度严重,特别是夏季水华暴发时极易造成蚌类缺氧死亡^[17,22],这与Strayer等^[28]、Bauer等^[29]的研究结果相一致。此外,这两个湖区常有渔民用泵吸法捕捞河蚬^[18],容易破坏蚌类资源和生境,这些都是导致这两个湖区蚌类相对较少的主要原因。

其余4个湖区的采样情况较为相似,采集蚌类的数量及现存量都处于较低水平,在聚类分析中聚为一组。东太湖地区虽处于轻度富营养化水域(<http://www.tba.gov.cn>),蚌类分布却较少,可能与该湖区大面积的湖泊用于围网养殖有关,水产养殖需要投放大量饵料,可能会影响该湖区的水质^[21],从而影响蚌类的生

存。同时据渔民介绍,该湖区有渔民捕捞蚌、河蚬等大型底栖动物作为大闸蟹的饵料,导致该湖区的蚌类分布较少。有报道指出,该湖区水生植被十分丰富,底质主要为淤泥并含大量植物碎屑,可能不适宜蚌类生存^[30]。湖心区受风流影响较大,底质主要为泥沙,部分样点底质为硬泥及石块,几乎没有植被分布^[21],这使得湖心区的蚌类的物种数量及现存量要明显低于沿岸带。

蚌类在淡水生态系统中具有重要功能,对于水体生态系统的修复也有重要作用。若干年来,相关部门一直在致力于太湖生态环境治理和修复工作,鉴于蚌类对维护生态系统健康的重要意义,建议要加大太湖蚌类保护力度,限制过度捕河蚬和蚌的行为,可考虑将东部沿岸区和贡湖划定为蚌类保护区。同时,由于蚌类的繁殖与鱼类密切相关,因此也要加强对该湖区鱼类的保护。

4 附录

附录见电子版(DOI: 10.18307/2019.0119)。

5 参考文献

- [1] Graf DL, Cummings KS. Review of the systematics and global diversity of freshwater mussel species (Bivalvia: Unionoida). *Journal of Molluscan Studies*, 2007, **73**(4): 291-314.
- [2] Bogan AE. Global diversity of freshwater mussels (Mollusca, Bivalvia) in freshwater. *Hydrobiologia*, 2008, **595**: 139-147.
- [3] Haag WR. North American freshwater mussels: Natural history, ecology, and conservation. *Freshwater Biology*, 2012, **58**(5): 1069-1069.
- [4] Chen XB, Su YP, Liu HB *et al.* Active biomonitoring of heavy metal pollution level of Wulihu area, Lake Taihu using "standardized" *Anodonta woodiana*. *J Lake Sci*, 2014, **26**(6): 857-863. DOI: 10.18307/2014.0607. [陈修报, 苏彦平, 刘洪波等. 基于“标准化”背角无齿蚌(*Anodonta woodiana*)对太湖五里湖重金属污染的主动监测. 湖泊科学, 2014, **26**(6): 857-863.]
- [5] Vaughn CC. Ecosystem services provided by freshwater mussels. *Hydrobiologia*, 2017, **810**(1): 15-27.
- [6] Lopes Lima M, Froufe E, Do VT *et al.* Phylogeny of the most species-rich freshwater bivalve family (Bivalvia: Unionida: Unionidae): Defining modern subfamilies and tribes. *Molecular Phylogenetics & Evolution*, 2017, **106**: 174-191.
- [7] Downing JA, Meter PV, Woolnough DA. Suspects and evidence: a review of the causes of extirpation and decline in freshwater mussels. *Animal Biodiversity and Conservation*, 2010, **33**(2): 151-185.
- [8] Sousa R, Varandas S, Teixeira A *et al.* Pearl mussels (*Margaritifera marocana*) in Morocco; Conservation status of the rarest bivalve in African fresh waters. *Science of the Total Environment*, 2016, **547**: 405-412.
- [9] Inoue K, Berg DJ. Predicting the effects of climate change on population connectivity and genetic diversity of an imperiled freshwater mussel, *Cumberlandia monodonta* (Bivalvia: Margaritiferidae), in riverine systems. *Global Change Biology*, 2017, **23**(1): 94-107.
- [10] Haag WR, Williams JD. Biodiversity on the brink: an assessment of conservation strategies for North American freshwater mussels. *Hydrobiologia*, 2014, **735**(1): 45-60.
- [11] Shu FY, Wang HJ, Pan BZ *et al.* Assessment of species status of Mollusca in the middle-lower Yangtze lakes. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, **33**(6): 1051-1058. [舒凤月, 王海军, 潘保柱等. 长江中下游湖泊贝类物种濒危状况评估. 水生生物学报, 2009, **33**(6): 1051-1058.]
- [12] Wu XP, Liang YL. Distribution of freshwater shellfish and species diversity in the middle-lower reaches of Yangtze River. *J Lake Sci*, 2000, **12**(2): 111-118. DOI: 10.18307/2000.0203. [吴小平, 梁彦龄. 长江中下游湖泊淡水贝类的分布及物种多样性. 湖泊科学, 2000, **12**(2): 111-118.]
- [13] Hu ZQ. The geographical distribution of Chinese endemic freshwater bivalves. *Chinese Journal of zoology*, 2005, **40**(6): 80-83. [胡自强. 中国淡水双壳类特有种的地理分布. 动物学杂志, 2005, **40**(6): 80-83.]
- [14] Zieritz A, Bogan AE, Froufe E *et al.* Diversity, biogeography and conservation of freshwater mussels (Bivalvia: Unionida) in East and Southeast Asia. *Hydrobiologia*, 2017, **810**(1): 1-16.
- [15] Xiong LF, Ouyang S, Wu XP. Fauna and standing stock of freshwater mussel in Lake Poyang, China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2012, **30**(1): 124-135.
- [16] Liu YY, Zhang WZ, Wang YX. The shellfishes in Lake Taihu and its surrounding waters. *Current Zoology*, 1980, **4**: 80-

84. [刘月英, 张文珍, 王跃先. 太湖及其周围水域的双壳类. 动物学报, 1980, 4: 80-84.]
- [17] Zhu GW. The analysis of present situation of eutrophication of Lake Taihu and its cause. *J Lake Sci*, 2008, 20(1): 21-26. DOI: 10.18307/2008.0103. [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.]
- [18] Cai YJ, Gong ZJ, Qin BQ. Community structure and diversity of macrozoobenthos in Lake Taihu. *Biodiversity Science*, 2010, 8(1): 50-59. [蔡永久, 龚志军, 秦伯强. 太湖大型底栖动物群落结构及多样性. 生物多样性, 2010, 8(1): 50-59.]
- [19] Cai YJ, Gong ZJ, Qin BQ. Standing crop and spatial distributional pattern of Mollusca in Lake Taihu, 2006-2007. *J Lake Sci*, 2009, 21(5): 713-719. DOI: 10.18307/2009.0516. [蔡永久, 龚志军, 秦伯强. 太湖软体动物现存量及空间分布格局(2006-2007年). 湖泊科学, 2009, 21(5): 713-719.]
- [20] Xu H, Cai YJ, Tang XM *et al.* Community structure of macrozoobenthos and the evaluation of water environment in Taihu Lake. *J Lake Sci*, 2015, 27(5): 840-852. DOI: 10.18307/2015.0510. [许浩, 蔡永久, 汤祥明等. 太湖大型底栖动物群落结构与水环境生物评价. 湖泊科学, 2015, 27(5): 840-852.]
- [21] Qin BQ, Luo LC. The analysis of evolution of ecological environment of Lake Taihu and its cause. *Quaternary Sciences*, 2004, 24(5): 561-568. [秦伯强, 罗激葱. 太湖生态环境演化及其原因分析. 第四纪研究, 2004, 24(5): 561-568.]
- [22] Chen Y, Hu XD, Zhang JH *et al.* Phytoplankton community structure and its relationship with environmental factors in different regions of Lake Taihu. *Journal of Hydroecology*, 2017, 38(3): 38-44. [陈洋, 胡晓东, 张建华等. 太湖不同区域浮游植物群落结构特征及其与环境因子的关系. 水生态学杂志, 2017, 38(3): 38-44.]
- [23] Wang Z, Wu TF, Zou H *et al.* Changes in seasonal characteristics of wind and wave in different regions of Lake Taihu. *J Lake Sci*, 2016, 28(1): 217-224. DOI: 10.18307/2016.0125. [王震, 吴挺峰, 邹华等. 太湖不同湖区风浪的季节变化特征. 湖泊科学, 2016, 28(1): 217-224.]
- [24] Cai W, Cai YJ, Gong ZJ *et al.* Temporal and spatial patterns of *Corbicula fluminea* in Lake Taihu. *J Lake Sci*, 2010, 22(5): 714-722. DOI: 10.18307/2010.0513. [蔡炜, 蔡永久, 龚志军等. 太湖河蚬时空格局. 湖泊科学, 2010, 22(5): 714-722.]
- [25] Qin BQ, Hu WP, Chen WM eds. The evolution process and mechanism of water environment in Lake Taihu. Beijing: Science Press, 2004. [秦伯强, 胡维平, 陈伟民. 太湖水环境演化过程与机理. 北京: 科学出版社, 2004.]
- [26] Nagayama S, Harada M, Kayaba Y. Distribution and microhabitats of freshwater mussels in waterbodies in the terrestrialized floodplains of a lowland river. *Limnology*, 2016, 17(3): 1-10.
- [27] Libois RM, Hallet-Libois C. The unionid mussels (Mollusca, Bivalvia) of the Belgian upper River Meuse: An assessment of the impact of hydraulic works on the river water self-purification. *Biological Conservation*, 1987, 42(2): 115-132.
- [28] Strayer DL, Hunter DC, Smith LC *et al.* Distribution, abundance and roles of freshwater clams (Bivalvia, Unionidae) in the freshwater tidal Hudson River. *Freshwater Biology*, 1994, 31: 239-248.
- [29] Bauer G. Plasticity in life history traits of the freshwater pearl mussel- consequences for the danger of extinction and for conservation measures. Species conservation: a population biological approach. *Birkhauser Basel*, 1991: 103-119.
- [30] Balfour DL, Smock LA. Distribution, age structure, and movements of the freshwater mussel *Elliptio complanata* (Mollusca: Unionidae) in a headwater stream. *Journal of Freshwater Ecology*, 1995, 10(3): 255-268.

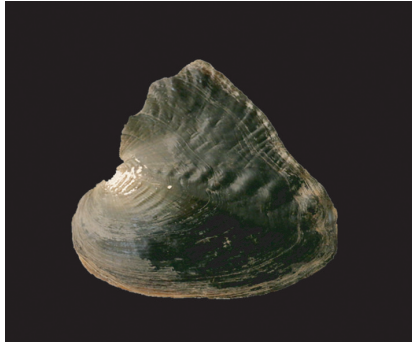
附录 I 太湖蚌类照片
Appendix I Photographs of unionids in Lake Taihu



洞穴丽蚌 *Lamprotula caveata*



背瘤丽蚌 *Lamprotula lei*



三角帆蚌 *Hyriopsis cumingii*



褶纹冠蚌 *Cristaria plicata*



真柱矛蚌 *Lanceolaria eucylindrica*



短褶矛蚌 *Lanceolaria grayana*

II



扭蚌 *Arconaia lanceolata*



射线裂脊蚌 *Schistodesmus lampreyanus*



舟形无齿蚌 *Anodonta euscaphys*



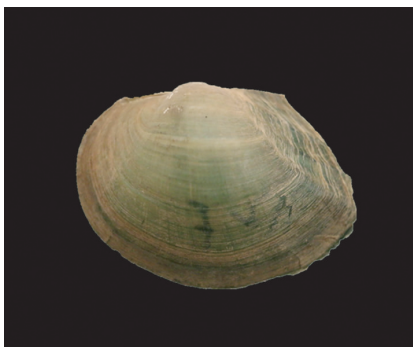
河无齿蚌 *Anodonta fluminea*



椭圆背角无齿蚌 *Anodonta woodiana elliptica*



背角无齿蚌 *Anodonta woodiana woodiana*



蚌形无齿蚌 *Anodonta arcaiformis*



圆顶珠蚌 *Unio douglasiae*