

## 湖南省大通湖河蚬 (*Corbicula fluminea*) 现存量及其时空分布<sup>\*</sup>

李德亮<sup>1</sup>, 张 婷<sup>1\*\*</sup>, 肖调义<sup>1</sup>, 龚望宝<sup>2</sup>, 谢 骏<sup>2</sup>, 李祖军<sup>3</sup>, 刘安民<sup>3</sup>

(1: 湖南农业大学动物科学技术学院, 长沙 410128)

(2: 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 广州 510380)

(3: 大通湖天泓渔业股份有限公司, 益阳 413215)

**摘 要:** 大通湖是湖南省最大的养殖湖泊. 随着河蚬经济价值的提升, 大通湖河蚬 *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) 的开发强度逐年增加. 为实现河蚬资源的合理开发, 本研究在对大通湖河蚬形态特征、现存量及其时空分布调查分析基础上, 重点探讨了养殖和软体动物捕捞对其资源的影响. 结果显示, 壳长大于 6 mm 河蚬的平均湿重 (BW)、壳长 (SL)、壳高 (SH) 和壳宽 (SW) 分别为  $1.41 \pm 0.03$  g、 $14.82 \pm 0.09$  mm、 $13.73 \pm 0.09$  mm 和  $9.72 \pm 0.06$  mm, 平均相对高度、圆度和凸度分别为  $0.930 \pm 0.001$ 、 $0.660 \pm 0.001$  和  $0.710 \pm 0.001$ . 河蚬壳长、壳高、壳宽与湿重的关系分别为:  $\lg BW = -3.45 + 3.00 \lg SL$ 、 $\lg BW = -3.23 + 2.89 \lg SH$ 、 $\lg BW = -2.87 + 2.97 \lg SW$ , 表明河蚬为等速生长. 2010—2011 年, 大通湖河蚬平均密度和生物量均较 2009 年显著增加. 2009 年, 河蚬主要分布于中北部的蜜蜂夹湖区域, 2010 年开始, 几乎遍布整个大通湖, 但整体上呈现由东北向西南逐渐递减的趋势, 密度和生物量高值均出现在大通湖中部, 蜜蜂夹湖、大西湖与尼古湖交界区域. 推测养殖过程中物化产品投入的增加是导致大通湖河蚬现存量快速增加的主要原因之一, 软体动物捕捞加速了河蚬分布区域的扩展. 据此提出了大通湖河蚬合理开发和有效保护的建议.

**关键词:** 大通湖; 河蚬; 现存量; 时空分布

## Standing crops and temporal-spatial distribution of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in Lake Datong, Hunan Province

LI Deliang<sup>1</sup>, ZHANG Ting<sup>1</sup>, XIAO Tiaoyi<sup>1</sup>, GONG Wangbao<sup>2</sup>, XIE Jun<sup>2</sup>, LI Zujun<sup>3</sup> & LIU Anmin<sup>3</sup>

(1: College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, P. R. China)

(2: Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, P. R. China)

(3: Datonghu Tianhong Aquatic Products Co. Ltd., Yiyang 413215, P. R. China)

**Abstract:** Lake Datong is the largest lake for aquaculture in Hunan Province, and also one of the typical shallow water lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River. Intensive aquaculture in Lake Datong has been enhanced gradually from 1990s onward when fertilization technology in pisciculture was used. At the same time, the fishing of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in Lake Datong has been increased gradually for these years due to the higher economic benefits. In order to achieve effective conservation and proper usage of *C. fluminea*, the present study has investigated the morphological characteristics, standing crops and temporal-spatial distribution of *C. fluminea* in Lake Datong, with special focus on analyzing the effects of intensive aquaculture and fishing of mollusks on the resources of *C. fluminea*. Results showed that mean ( $\pm$  SE) wet weight (BW), shell length (SL), shell height (SH), shell width (SW), relative height, roundness and convexity of *C. fluminea* with shell length longer than 6 mm were  $1.41 \pm 0.03$  g,  $14.82 \pm 0.09$  mm,  $13.73 \pm 0.09$  mm,  $9.72 \pm 0.06$  mm,  $0.930 \pm 0.001$ ,  $0.660 \pm 0.001$  and  $0.710 \pm 0.001$ , respectively. The relationships between shell length-weight, shell height-weight and shell width-weight of *C. fluminea* were  $\lg BW = -3.45 + 3.00 \lg SL$ ;  $\lg BW = -3.23 + 2.89 \lg SH$ ;  $\lg BW = -2.87 + 2.97 \lg SW$ , respectively, which showed that the growth of *C. fluminea* was isometric. Mean ( $\pm$  SE) density and biomass of *C. fluminea* in Lake Datong increased

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目 (31100282, 31000183)、国家大宗淡水鱼类产业技术体系常德综合试验站项目 (CARS-46-42) 和中国水产科学研究院基本科研业务费项目 (2012A0803) 联合资助. 2012-10-08 收稿; 2013-01-17 收修改稿. 李德亮, 男, 1980 年生, 博士, 副教授; E-mail: lideliang80@aliyun.com.

<sup>\*\*</sup> 通信作者; E-mail: tingzh0517@163.com.

significantly from 2009. In 2009, *C. fluminea* were mainly distributed in the central and north part of Lake Datong, i. e. a sub-lake area called Lake Mifengjia. After 2010, the distribution of *C. fluminea* extended significantly and occupied almost all areas of Lake Datong, which showed a decreasing pattern from the northeast to southwest. Higher density and biomass mainly occurred at the interaction zone of three sub-lakes (i. e. Lake Mifengjia, Lake Daxi and Lake Nigu). The results indicated that inputs of physical and chemical products resulting from intensive aquaculture were possibly one of the main reasons for the increase of standing crops. Fishing of mollusks could have expedited the expansion of *C. fluminea* in Lake Datong. Suggestions of effective conservation and proper usage of *C. fluminea* were proposed and discussed.

**Keywords:** Lake Datong; *Corbicula fluminea*; standing crops; temporal-spatial distribution

河蚬 *Corbicula fluminea* (Müller 1774) 属软体动物门, 瓣鳃纲, 真瓣鳃目, 蚬科, 常栖息于淡水、咸淡水的江河、湖泊、沟渠、池塘内, 底质多为沙底、沙泥底或泥底<sup>[1-3]</sup>. 河蚬原产于亚洲、非洲和澳洲, 频繁的移民和国际商业贸易活动, 使其在近几十年内迅速在美洲和欧洲大陆扩散, 并已在世界范围内许多水域发展成为底栖动物优势种类<sup>[4-7]</sup>. 因此, 作为入侵种, 河蚬在天然水域中的生活史策略、对入侵生态系统的影响及其控制策略均是国际上备受关注的焦点<sup>[8]</sup>. 我国是河蚬的原产区域之一. 长期以来, 河蚬因其丰富的营养和药用功能而被我国东南沿海、日本和韩国民众作为滋补佳品和醒酒与护肝药膳广泛养殖和利用<sup>[1,3,9]</sup>. 近年来, 河蚬在淡水生态系统中的种群特征及生态服务功能在国内也逐渐被关注<sup>[10-11]</sup>. 尽管如此, 养殖和捕捞对天然水域河蚬现存量和时空分布影响的报道十分有限.

大通湖 (29°09' ~ 29°15'N, 112°26' ~ 112°33'E) 位于长江中游南岸, 湘中偏北, 东邻澧湖, 南与沅江市相连, 西北与南县、华容县比邻. 曾因东通东洞庭, 南连南洞庭, 西注目平湖, 北纳藕池水, 四通八达而得名. 大通湖水面 82.7 km<sup>2</sup>, 东西极长 15.75 km, 南北宽 13.7 km, 呈三角形, 湖底高程为海拔 23.8 ~ 26.0 m (吴淞高程基准). 该湖泊被人为地用拦网分割成蜜蜂夹湖、大西湖和尼古湖 3 部分<sup>[12-13]</sup>. 过去 50 年的渔业生产过程中, 大通湖完成了养殖方式由自然增殖到人放天养再到人工养殖的转变, 养殖产量大幅度提高, 尤其是 1990 年开始实行的施肥养鱼技术, 更是对其渔业产量的提高起到了极大的促进作用<sup>[14-15]</sup>. 然而, 人工养殖对大通湖河蚬现存量及时空分布的影响尚未做详细报道. 近几年来, 随着河蚬经济价值的提升, 湖区河蚬的开发强度逐年增强. 故而全面的河蚬现存量及时空分布信息对其资源的合理开发具有重要的指导意义.

因此, 本研究在对大通湖河蚬形态特征、现存量及其时空分布调查分析基础上, 重点探讨养殖和软体动物捕捞对其资源的影响, 以期为大通湖及其他浅水养殖湖泊河蚬的合理开发提供基础数据和科学依据.

## 1 材料和方法

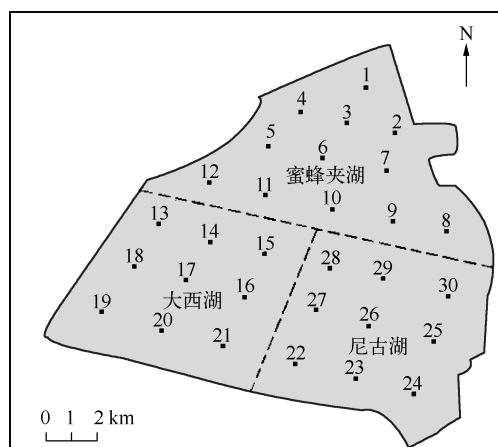


图 1 大通湖河蚬采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites for *Corbicula fluminea* in Lake Datong

### 1.1 采样时间和采集点

2009 年 8 月、2010 年 8 月以及 2011 年 3、4、6 和 8 月分别对大通湖河蚬进行调查. 根据湖泊形态, 全湖设置 30 个采样点 (图 1).

### 1.2 采集方法

河蚬定量采集用 1/16 m<sup>2</sup> 的彼得森采泥器, 每个采样点采集 2 次. 采集泥样经 40 目标准筛洗净, 置于白色磁盘中分选. 挑出的河蚬标本带回实验室. 对 2011 年采集样品进行形态测量. 河蚬壳体形态参数测定用数显游标卡尺完成. 根据通用的河蚬壳体形态定义, 壳长 (SL) 为壳体前后方向最大距离, 壳高 (SH) 为壳体背部与腹部方向最大距离, 壳宽 (SW) 为相联的左右两个壳瓣之间的最大距离<sup>[16]</sup>. 测量后用滤纸吸干表面水, 称重, 折算出单位面积密度和生物量.

### 1.3 形态参数计算

因河蚬幼体与成体在壳形态上差异较大, 且其一

一般在 6~10 mm 时即达到性成熟,故用于三度形态统计的河蚬壳长均大于 6 mm<sup>[17-18]</sup>. 河蚬相对高度、圆度和凸度的计算方式为<sup>[19]</sup>:相对高度 = SH/SL;圆度 = SW/SL;凸度 = SW/SH.

1.4 数据处理

河蚬壳长、壳高及壳宽与湿重的关系曲线用 Statistics 6.0 软件进行拟合,拟合采用最小二乘法. 数据因转换后仍无法满足正态性和方差同质性要求,故不同时间河蚬的平均密度和生物量之间的差异采用 Kruskal-Wallis 检验进行分析,差异显著时进行 Mann-Whitney U 多重比较. 统计分析用 Statistics 6.0 软件完成. 空间格局分布图利用专业地理信息统计软件 ArcGIS 9.2,以各采样点河蚬的密度和生物量为变量,利用反距离权重法运算,模拟生成<sup>[13]</sup>.

2 结果

2.1 大通湖河蚬形态及其与湿重的关系

用于三度形态分析的河蚬平均湿重为 1.41 ± 0.03 g;壳长、壳高和壳宽的平均值分别为 14.82 ± 0.09、13.73 ± 0.09 和 9.72 ± 0.06 mm;相对高度、圆度和凸度的平均值分别为 0.930 ± 0.001、0.660 ± 0.001 和 0.710 ± 0.001 (表 1).

表 1 2011 年大通湖河蚬的形态参数  
Tab. 1 Morphological characteristics of *Corbicula fluminea* in 2011 in Lake Datong

形态参数	3 月 (n = 327)	4 月 (n = 697)	6 月 (n = 471)	8 月 (n = 504)	3—8 月 (n = 1999)
壳长/mm	15.03 ± 0.22	14.13 ± 0.16	15.21 ± 0.15	15.29 ± 0.21	14.82 ± 0.09
壳高/mm	13.83 ± 0.20	13.02 ± 0.15	14.23 ± 0.14	14.19 ± 0.20	13.73 ± 0.09
壳宽/mm	10.00 ± 0.14	9.38 ± 0.10	9.93 ± 0.09	9.78 ± 0.13	9.72 ± 0.06
相对高度	0.920 ± 0.003	0.920 ± 0.002	0.940 ± 0.002	0.920 ± 0.002	0.930 ± 0.001
圆度	0.670 ± 0.003	0.670 ± 0.003	0.660 ± 0.002	0.640 ± 0.003	0.660 ± 0.001
凸度	0.730 ± 0.002	0.720 ± 0.002	0.700 ± 0.002	0.690 ± 0.002	0.710 ± 0.001

河蚬壳长与湿重的关系为:lg BW = -3.45 + 3.00 lg SL ( $R^2 = 0.97, n = 2057$ );壳高与湿重的关系为:lg BW = -3.23 + 2.89 lg SH ( $R^2 = 0.97, n = 2057$ );壳宽与湿重的关系为:lg BW = -2.87 + 2.97 lg SW ( $R^2 = 0.97, n = 2057$ ) (图 2).

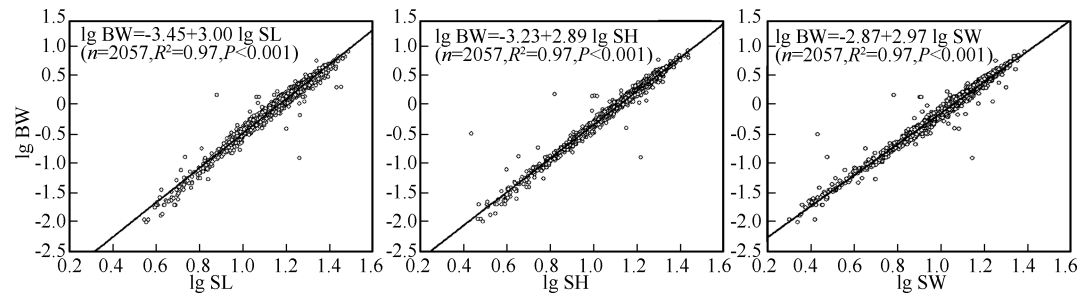


图 2 大通湖河蚬壳长、壳高和壳宽与湿重关系

Fig. 2 The relationships between shell length, shell height, shell width and wet weight of *Corbicula fluminea* in Lake Datong

2.2 大通湖河蚬现存量的时间变化

2009 年 8 月,大通湖河蚬平均密度为 90 ± 18 ind./m<sup>2</sup>. 2010 年和 2011 年,河蚬密度显著增加,其中 2010 年 8 月最高,达到 502 ± 67 ind./m<sup>2</sup>,但与 2011 年 3 月和 4 月之间没有显著差异. 2011 年 6 月 (304 ± 39 ind./m<sup>2</sup>) 和 8

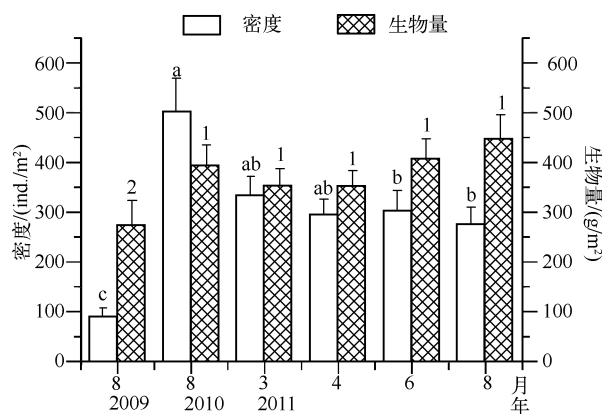


图3 大通湖河蚬密度和生物量的时间变化  
(不同字母或数字分别表示密度或生物量  
在不同采样时间之间差异显著)

Fig. 3 Temporal changes for density and biomass of *Corbicula fluminea* in Lake Datong

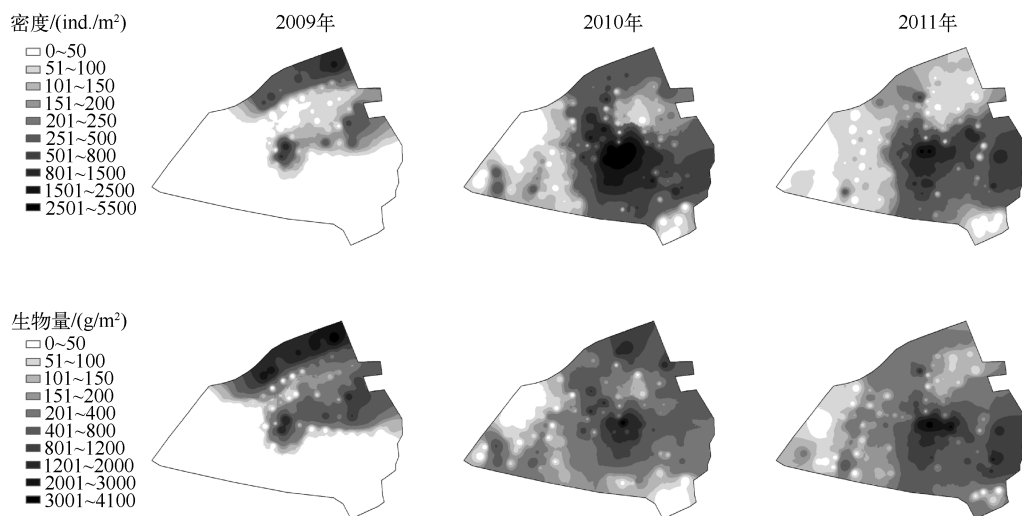


图4 8月份大通湖河蚬密度和生物量的空间分布

Fig. 4 Spatial patterns of the density and biomass of *Corbicula fluminea* in August in Lake Datong

### 3 讨论

#### 3.1 大通湖河蚬形态及其与湿重的关系

已有研究表明,中国主要流域壳长大于 8 mm 的河蚬相对高度为 0.80~0.97,平均值为 0.87;圆度为 0.46~0.75,平均值为 0.58;凸度为 0.56~0.80,平均值为 0.66<sup>[19]</sup>. 大通湖壳长大于 6 mm 的河蚬平均相对高度为 0.93,圆度为 0.66,凸度为 0.71,均在中国主要流域河蚬形态特征范围之内. 河蚬与鱼类相似,可根据壳长和湿重的关系中参数  $b$  的大小来判断河蚬的生长情况. 当  $b=3$  时则说明河蚬处于等速生长,  $b$  大于或小于 3 时则处于异速生长<sup>[20]</sup>. 大通湖河蚬壳长、壳高和壳宽与湿重的关系式中,  $b$  分别为 3.00、2.89 和 2.97,均接近于 3,略高于陈家湖性腺丰满河蚬和性腺萎缩河蚬壳长与湿重关系式中的  $b$  值(2.73 和 2.70),但略低于军山湖的  $b$  值(3.25)<sup>[21-22]</sup>. 该结果说明大通湖河蚬为等速生长,这与太湖河蚬相关的研究结果一致<sup>[20]</sup>.

月( $277 \pm 34$  ind./m<sup>2</sup>)河蚬平均密度较 2010 年 8 月显著降低. 2009 年 8 月,河蚬平均生物量为  $272.88 \pm 50.19$  g/m<sup>2</sup>. 2010 年和 2011 年,河蚬平均生物量均显著增加,但两年内各调查时段平均生物量之间没有显著差异(图 3).

#### 2.3 大通湖河蚬现存量的空间变化

2009 年 8 月,河蚬主要分布于大通湖中部和北部的蜜蜂夹湖区域,密度和生物量高值出现在蜜蜂夹湖西北岸和蜜蜂夹湖、大西湖和尼古湖交界的区域. 2010 年和 2011 年 8 月,河蚬分布几乎遍布整个大通湖,但密度和生物量整体上呈现由东北向西南逐渐递减的趋势,密度高值仍出现在大通湖中部的尼古湖与大西湖和蜜蜂夹湖交界的区域(图 4).

3.2 大通湖河蚬现存量的时间变化及其驱动因素

2010 年大通湖河蚬平均密度与生物量分别较 2009 年增加 5.6 倍和 1.8 倍. 2011 年与 2010 年河蚬生物量之间没有显著差异, 但 2011 年 6—8 月河蚬密度较 2010 年 8 月显著下降. 2011 年 8 月, 大通湖河蚬密度和生物量平均值分别为 277 ind./m<sup>2</sup> 和 389.9 g/m<sup>2</sup>, 均显著高于目前已报道的其他长江中下游湖泊<sup>[13, 22-23, 26]</sup> (表 2). 分析表明, 随着水体营养水平提高, 湖泊河蚬现存量呈现先增加后下降的趋势(表 2). 河蚬现存量的增加受食物制约, 而下降则受底层溶解氧制约. 河蚬属滤食性双壳类, 主要以浮游生物(如硅藻、绿藻、眼虫和轮虫等)为食料<sup>[23]</sup>. 随着水体营养水平的不断增加, 水体浮游生物量也不断增加, 故而为河蚬的生长繁育提供了丰富的饵料基础; 当水体营养水平进一步增加, 达到重度富营养状态时, 则会因水体有机质含量的剧增而导致水体底层严重缺氧, 从而影响河蚬的生理功能甚至直接导致其死亡. 大量资料表明, 河蚬耐低氧能力较差, 溶解氧饱和度低于 70% 就会导致繁殖个体死亡<sup>[24]</sup>. 类似的现象在关于巢湖河蚬的研究中已得到证实, 即河蚬的种群密度和生物量均随水体富营养化的加剧而下降<sup>[25]</sup>. 2009 年是大通湖经营权转租企业后实现统一经营和管理的第一年, 全年施肥和投饵共计 19715 t, 2010 年全年施肥和投饵共计 24130 t, 2011 年达 41052 t. 外源营养物质输入的增加为河蚬的快速生长繁殖提供了必要的食料基础. 因此, 推测养殖过程中外源物化产品投入的增加是大通湖河蚬现存量增加的主要原因之一.

表 2 不同营养水平湖泊河蚬的现存量  
Tab. 2 Standing crops of *Corbicula fluminea* in different trophic level lakes

营养水平	湖泊	时间	面积/km <sup>2</sup>	平均水深/m	密度/(ind./m <sup>2</sup> )	生物量/(g/m <sup>2</sup> )	参考文献
重富营养	陈家湖	2007—2008 年	22	3.0	5	4.3	蔡永久等 <sup>[26]</sup>
重富营养	巢湖	2002 年	780	3	22	78.4	蔡永久等 <sup>[26]</sup>
重富营养	昆承湖	2000 年 3 月	17.7	1.5~3.0	84	334.9	凌去非等 <sup>[23]</sup>
富营养	大通湖	2011 年 3—8 月	82.7	1.8	303	389.9	李德亮等 <sup>[13]</sup> 和本研究
富营养	太湖	2007 年	2427.8	1.8	266	100.9	蔡永久等 <sup>[26]</sup>
中富营养	洪泽湖	2005 年 6 月	1960	3~4	107	120.8	蔡永久等 <sup>[26]</sup>
中富营养	军山湖	2005 年 8 月	193	3.9	72	170.7	潘洪超等 <sup>[22]</sup>
中富营养	军山湖	2007—2008 年	193	3.9	126	114.8	蔡永久等 <sup>[26]</sup>
中富营养	珠湖	2007—2008 年	81	2.1	48	128.6	蔡永久等 <sup>[26]</sup>
中富营养	鄱阳湖	2007 年	146~4070	8.4	8	19.8	蔡永久等 <sup>[26]</sup>
贫营养	抚仙湖	2005 年 6—7 月	216.6	87	43	29.1	蔡永久等 <sup>[26]</sup>

3.3 大通湖河蚬现存量的空间分布变化及其驱动因素

大通湖河蚬分布具有明显的空间异质性, 密度和生物量整体上呈现由东北向西南逐渐递减的趋势, 高值均出现在中部的尼古湖、蜜蜂夹湖和大西湖交界区域. 已有研究表明, 河蚬喜栖居于砂质底质, 而沉积物中的植物碎屑不利于其生长<sup>[26-27]</sup>. 大通湖的蜜蜂夹湖区和尼古湖区均以淤泥底质为主, 且底泥含有丰富的软体动物空壳, 大西湖底质虽也以淤泥为主, 但其中含有大量由水生植物腐败形成的植物碎屑. 据此, 推测底质类型的空间差异可能是影响大通湖河蚬空间分布最主要的因素之一.

2009 年, 河蚬主要分布于大通湖的中北部, 从 2010 年开始, 河蚬分布区域迅速扩展到整个湖区. 河蚬的活动能力较弱, 从母体排出的幼蚬利用粘性足丝附着于周围的底泥、水生植被和硬物表面进行生长发育. 尽管幼蚬可通过底泥的再悬浮而扩散<sup>[18]</sup>, 但这种因底泥再悬浮所造成的幼蚬扩散作用在相对封闭的大通湖区较河流要弱的多. 因此, 推测由于频繁的软体动物捕捞作业将河蚬带入不同区域, 从而加速了大通湖河蚬空间分布范围的快速扩展. 2004—2008 年, 软体动物捕捞作业因蜜蜂夹湖、大西湖和尼古湖经营权归属不同均限定在各自区域. 直到 2009 年, 捕捞打破区域限制, 实行全湖统一作业, 而且捕捞强度增加. 2009、2010 和 2011 年, 全湖螺类捕捞量分别为 33000、24286 和 20338 t, 河蚬捕捞量分别为 515、1715 和 3094 t.

3.4 大通湖河蚬资源合理开发建议

综合分析推测, 养殖过程中物化产品投入的增加是导致大通湖河蚬现存量增加的主要原因之一, 软体动物捕捞加速了河蚬空间分布区域的扩展. 因此, 为实现大通湖河蚬资源的合理开发和有效保护, 今后应重

点开展如下两方面的工作:1) 严格控制养殖过程中物化产品投入量,平衡营养物质的投入与移出,防止水体营养程度的过度增加;2) 开展河蚬种群特征研究,依据其繁殖习性和生产力,合理安排捕捞,避免繁殖高峰期的高强度捕捞,以保护其繁殖群体;同时严格规定捕捞网目规格,有效保护补充群体。此外,鉴于河蚬所具有生长速度快、繁殖周期短、繁殖力强等特征,有必要严密监控其现存量 and 空间分布特征,消除其对软体动物多样性可能带来的潜在威胁。

#### 4 参考文献

- [1] 刘月英,张文珍,王跃先. 中国经济动物志:淡水软体动物. 北京:科学出版社,1979:119-123.
- [2] 杞 桑,林美心. 珠江广州河段河蚬种群的若干生态学研究. 生态学报,1987,7(2):161-169.
- [3] 蔡如星,黄惟灏. 浙江动物志:软体动物. 杭州:浙江科学技术出版社,1991:235.
- [4] Komaru A, Houki S, Yamada M *et al.* 28S rDNA haplotypes of males are distinct from those of androgenetic hermaphrodites in the clam *Corbicula leana*. *Dev Genes Evol*, 2012, **222**:182-187.
- [5] Houki S, Mitsuya Y, Honda T *et al.* Origin and possible role of males in hermaphroditic androgenetic *Corbicula* clams. *Zoolog Sci*, 2011, **28**:526-531.
- [6] Sousa R, Gutierrez JL, Aldridge DC. Non-indigenous bivalves as ecosystem engineers. *Biol Invasions*, 2009, **11**:2367-2385.
- [7] Pigneur LM, Risterucci AM, Dauchot N *et al.* Development of novel microsatellite markers to identify the different invasive lineages in the *Corbicula fluminea* complex and to assess androgenesis. *Mol Ecol Resour*, 2011, **11**:573-577.
- [8] Franco JN, Ceia FR, Patrício J *et al.* Population dynamics of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in mesohaline and oligohaline habitats: invasion success in a southern Europe estuary. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2012, **112**:31-39.
- [9] 丁怀宇,姜虎成,冯建彬等. 河蚬微卫星引物筛选及洪泽湖野生群体遗传结构分析. 水产学报, 2011, **35**(11):1624-1632.
- [10] 张 雷,古小治,邵世光等. 河蚬(*Corbicula fluminea*)扰动对湖泊沉积物性质及磷迁移的影响. 环境科学, 2011, **32**(1):88-95.
- [11] Zhang L, Shen QS, Hu HY *et al.* Impact of *Corbicula fluminea* on oxygen uptake and nutrient fluxes across the sediment water interface. *Water Air Soil Pollut*, 2011, **220**:399-411.
- [12] 李德亮,张 婷,余建波等. 长江中游典型湖泊重金属分布及其风险评价——以大通湖为例. 长江流域资源与环境, 2010, **19**(Z1):183-189.
- [13] 李德亮,张 婷,余建波等. 典型养殖湖泊大通湖软体动物现存量与时间分布格局. 水生生物学报, 2011, **35**(6):946-954.
- [14] 李德亮,张 婷,余建波等. 养殖湖泊大通湖浮游植物群落结构及与环境因子关系. 应用生态学报, 2012, **23**(8):2107-2113.
- [15] 肖调义,李德亮,王红权等. 大通湖养殖模式的改革与探索. 科学养鱼, 2012, **2**:82-83.
- [16] Britton JC, Morton B. A dissection guide, field and laboratory manual for the introduced bivalve *Corbicula fluminea*. *Malacol Rev*, 1982, **3**(Suppl.):1-82.
- [17] Kovitvadhi S, Kovitvadhi U, Sawangwong P *et al.* Morphological development of the juvenile through to the adult in the freshwater pearl mussel, *Hyriopsis (Limnoscapha) myersiana*, under artificial culture. *Invertebr Reprod Dev*, 2007, **50**:207-218.
- [18] Sousa R, Antunes C, Guilhermino L. Ecology of the invasive Asian clam *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in aquatic ecosystems: An overview. *Ann Limnol-Int J Lim*, 2008, **44**:85-94.
- [19] 周 会,刘丛强,闫 慧等. 中国主要流域河蚬[*Corbicula fluminea* (Müller, 1774)]形态及其对环境的适应性. 生态学杂志, 2011, **30**(7):1497-1503.
- [20] 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.
- [21] 吴小平. 河蚬 *Corbicula fluminea* (Müller) 和江蚬 *Corbicula fluminalis* (Müller) 的种群生态学研究. 中国动物学会、中国海洋湖沼学会贝类学分会第二次代表大会暨第三次学术讨论会论文集, 1986:54-62.
- [22] 潘洪超,欧阳珊,黄 鹏等. 军山湖河蚬的种群动态及生产量研究. 环境科学与管理, 2011, **36**(3):102-105.
- [23] 凌去非,宋学宏,康华东等. 昆承湖河蚬资源及水体理化因子的初步探讨. 水利渔业, 2001, **21**(1):44-46.
- [24] McMahon RF. Response to temperature and hypoxia in the oxygen-consumption of the introduced Asiatic freshwater clam *Corbicula fluminea* (Müller, 1774). *Comp Biochem Physiol*, 1979, **63A**:383-388.
- [25] 邓道贵,李洪远,胡万明等. 巢湖富营养化对河蚬和环棱螺分布及种群密度影响. 应用生态学报, 2005, **8**:1502-1506.
- [26] 蔡永久,姜加虎,张 路等. 长江中下游湖泊大型底栖动物群落结构及多样性. 湖泊科学, 2010, **22**(6):811-819.
- [27] 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.