

文章编号: 1674-5566(2018)01-0115-11

DOI:10.12024/jso.20170301976

太湖鳊鲂亚科鱼类群落结构及其时空变动

徐东坡, 凡迎春, 周彦锋, 陈永进, 刘 凯

(农业部长江下游渔业资源环境科学观测实验站, 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081)

摘 要: 为了解太湖鳊鲂亚科鱼类群落结构及多样性时空分布特征, 于 2013 年 3 月至 2014 年 2 月利用刺网和地笼对太湖 8 个样点的鱼类资源进行调查。结果表明: 本次共采集到鱼类 50 种, 隶属于 8 目 23 科, 其中鳊鲂亚科、鮡亚科、鲃科等小型鱼类数量较多, 鱼类小型化趋势明显; 与历史资料相比, 有 57 种鱼类没有采集到, 其种类、数量、优势种均发生较大变化。共调查到鳊鲂亚科鱼类 2 属 7 种, 其中兴凯鲂 (*Acheilognathus chankaensis*)、大鳍鲂 (*Acheilognathus macropterus*) 为主要种类、异速生长, 其他鱼类等速生长。聚类分析显示: 太湖鳊鲂亚科鱼类组成有显著时空差异, 时间为 2 组, 5—12 月为一组, $N\%$ 、 $W\%$ 和 IRI 指数显示兴凯鲂占优势, 其余时间大鳍鲂占优势; 空间为两组, 贡湖、漫山为一组, 大鳍鲂占优势, 其余站点兴凯鲂占优势。分析显示多样性指数均低于一般水平 (1.5~3.5), 其鱼类群落结构的时空差异与湖泊营养盐、环境因子、浮游生物、水生植物等分布格局密切相关。

关键词: 鳊鲂亚科; 聚类分析; 群落多样性; 时空差异; 体长和体质量

中图分类号: S 931 **文献标志码:** A

太湖是长江流域典型的大型浅水湖泊, 水域面积 2 338 km², 平均水深 1.89 m, 是我国第三大淡水湖, 其地处亚热带, 气候温和, 河网密布, 渔业资源十分丰富, 历史上曾报道有鱼类 103 种^[1-3]。有关太湖鱼类资源的调查始于 20 世纪 50 年代, 内容主要集中于鱼类生物学特征、区系组成及食性等方面^[4-6], 倪勇等^[7]在汇总前人研究的基础上, 对太湖鱼类区系进行了系统调研, 共计记录鱼类 107 种, 分别隶属于 14 目 25 科 73 属。鱼类作为湖泊水生生物的重要类群, 其群落结构与湖泊生态系统的稳定性息息相关^[8], 科学掌握湖泊鱼类群落结构现状并阐明其变动趋势, 对于湖泊生态系统研究具有重要意义。

鳊鲂亚科 (*Acheilognathinae*) 隶属于鲤形目 (*Cypriniformes*) 鲤科 (*Cyprinidae*), 为典型小型鱼类, 一般体长小于 80 mm, 最大不超过 180 mm, 大多栖息于江河、湖泊、水库等浅静水区, 营杂食性生活, 以浮游生物、碎屑等为食^[9]。由于独特的

形态、繁殖策略及细胞核学的特征, 其在鲤科鱼类中显得极为特别, 吸引了研究者极大的兴趣。目前对鳊鲂亚科鱼类的研究主要集中于繁殖习性、形态特征及分子系统学等几个方面^[10-12], 对其群落结构的研究却鲜有介绍。鳊鲂亚科鱼类是太湖鱼类的重要组成部分, 对维护太湖生态系统的平衡起重要作用^[6-7]。然而近几十年来, 太湖水域生态环境不断恶化, 江湖阻隔、围网养殖、过度捕捞及富营养化不断加剧、水草植被大幅度减少等生境变化导致太湖鱼类资源量和区系组成发生了显著变化, 鱼类小型化趋势十分明显^[4,6], 进而鳊鲂亚科鱼类的种群特征及其在太湖鱼类群落中的生态地位也将发生相应的变化。本研究于 2013 年 3 月至 2014 年 2 月逐月对太湖鳊鲂亚科鱼类进行调查, 了解其物种组成、数量分布及多样性特征等, 以期掌握太湖鳊鲂亚科鱼类群落特征的时空变化规律等, 为太湖鱼类生态学研究积累素材。

收稿日期: 2017-03-10 修回日期: 2017-04-18

基金项目: 长江中下游水产种质资源标准化整理、整合与共享 (2015DKA30470); 太湖鱼类调查 (2013WT007)

作者简介: 徐东坡 (1982—), 男, 副研究员, 研究方向为渔业生态学。E-mail: xudp@ffrc.cn

通信作者: 刘 凯, E-mail: liuk@ffrc.cn

1 材料与方法

1.1 样点设置

太湖位于长江下游,处于北纬 $30^{\circ}55'40'' \sim 31^{\circ}32'58''$ 和东经 $119^{\circ}52'32'' \sim 120^{\circ}36'10''$ 。依据太湖水域的实际情况,按照《内陆水域渔业自然资源调查手册》样点设置原则^[13],共设置 8 个监测点,分别为大浦、贡湖、横山、鲤鱼山湾、漫山、平台山、汤淞及竺山湖(图 1)。

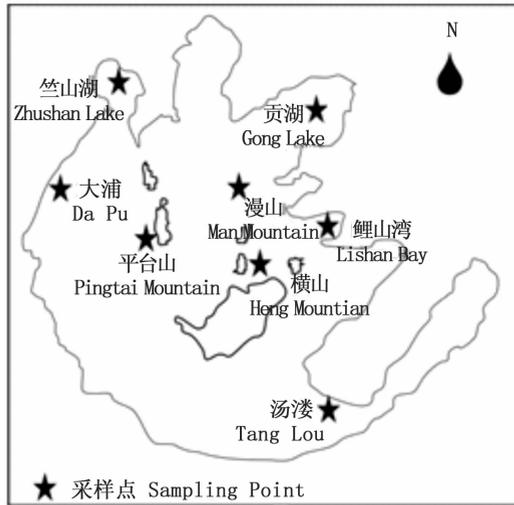


图 1 太湖鱼类调查采样点分布

Fig. 1 The fish sampling stations in Lake Taihu

1.2 样品采集

本次调查于 2013 年 3 月至 2014 年 2 月使用多网目复合刺网、地笼 2 种渔具对太湖 8 个样点进行逐月调查。其中:多网目复合刺网长 125 m (每条刺网包含 7 种网目,网目 1.2 cm、2 cm、4 cm 各 15 m;网目 6 cm、8 cm、10 cm、14 cm 各 20 m),高 1.5 m;地笼长、宽、高分别为 25 m、0.3 m、0.3 m,网目 0.8 cm,每次各样点分别放置 3 条刺网及 3 条地笼,12 h 后收集所有渔获物,带回实验室鉴定到种^[7,14],同时按照 Hubbs & Lagler 描述的方法,使用电子数显卡尺和电子天平测定每一尾鱼的全长(0.1 cm)、体长(0.1 cm)及体质量(0.1 g)等生物学指标^[15]。

1.3 数据处理

1.3.1 使用 PINKAS 相对重要性指数 (IRI) 描述各鱼类重要性^[16-17],公式如下:

$$IRI = (N\% + W\%) \times F\%$$

式中: $N\%$ 为某一鱼类的尾数占总尾数的百分比,

$W\%$ 为某一鱼类的质量占总质量的百分比, $F\%$ 为某一鱼类出现的次数占总调查次数的百分比,其中 $IRI > 1000$,为群落优势种; $IRI > 100$,为群落主要种; $IRI < 10$,为群落少见种或偶见种。

1.3.2 使用下列公式分析鱼类群落多样性特征^[18-19]:

Margalef 物种丰富度指数 (D):

$$D = (S - 1) / \ln N$$

Shannon-Wiener 多样性指数 (H'):

$$H' = - \sum_i^n p_i \ln p_i$$

Evenness 均匀度指数 (E):

$$E = H' / \ln S$$

Simpson 优势度指数 (D'):

$$D' = 1 - \sum_i^n p_i^2$$

式中: S 为鳊鲃亚科鱼类种类数; N 为鳊鲃亚科鱼类总尾数; p_i 为第 i 种鱼所占的数量百分比,群落多样性指数差异采用单因素方差分析,多重比较采用 Duncan 氏检验。

采用组平均聚类法对鳊鲃亚科鱼类进行时间、空间聚类分析,探讨太湖鳊鲃亚科鱼类群落组成的时空变化,以 $d = 1 - r$ (r 为 Pearson 相关系数) 作为相异性指标,将 $d = 0.3$ 作为存在显著差异的依据^[20]。

1.3.3 使用幂函数描述鱼类体长与体质量的相互关系^[21],公式如下:

$$W = aL^b$$

式中: W 表示鱼类体质量 (g), L 表示鱼类全长 (cm), a 、 b 为相关参数,其中 a 为生长的条件因子, b 值判断鱼类的生长情况,表示鱼类生长发育的不均匀性,当鱼类 b 值与 $b = 3$ 时无显著差异时,表示鱼类的体长和体质量关系符合欧氏几何中的体积随长度的变化关系,即等速生长;当 b 值与 $b = 3$ 呈显著差异时,表示鱼类体长和体质量关系不符合欧氏几何中的体积随长度的变化关系,即非等速生长。

2 结果

2.1 种类组成

共采集鱼类 52 种 10 358 尾,隶属于 8 目 23 科。数量百分比 ($N\%$) 显示鳊鲃亚科 (24.44%)、亚科 (18.33%)、鲢科 (14.37%) 占优势,其中刀鲚 (14.37%)、兴凯鲮 (13.24%)

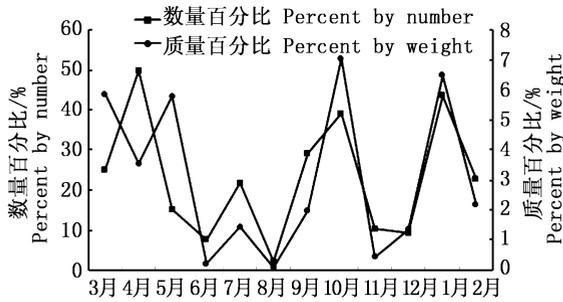


图3 太湖鳊鲃亚科鱼类组成的月度变化
Fig. 3 The monthly variations of Acheilognathinae in Lake Taihu

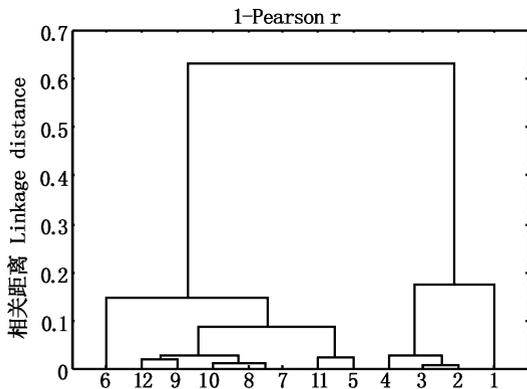


图4 太湖鳊鲃亚科鱼类组成时间变化的聚类分析
Fig. 4 Dendrogram of the time variation of Acheilognathinae in Lake Taihu

分析显示太湖鳊鲃亚科鱼类数量及生物量呈相似波浪形空间变化,北部贡湖、竺山湖等较高,东部横山、鲤鱼山湾等较低(图5)。对鱼类数量进行聚类显示,其组成有显著空间差异,漫山、贡湖为一类,大鳍鲃占优势;其余站点为一类,兴凯鲃占优势(图6)。N%、W%显示兴凯鲃、大鳍鲃为各站点鳊鲃亚科鱼类的主要贡献者(大浦仅兴凯鲃一种),贡湖、漫山大鳍鲃稍多,其余站点兴凯鲃稍多。IRI亦显示各站点大鳍鲃、兴凯鲃较高,为太湖鳊鲃亚科鱼类的主要组成成分(表3)。

2.3 群落多样性时空变化

太湖鳊鲃亚科鱼类丰富度(R)、多样性(H')、均匀度(E)、优势度(D')等指数没有显著的时间差异(R: X² = 19.04, P = 0.06; H': X² = 16.82, P = 0.11; E: X² = 16.67, P = 0.12; D': X² = 19.04, P = 0.06)。前三种指数呈现相似的月度间变化,均与优势度指数变化相反,6月多样性指数较高(图7)。太湖鳊鲃亚科鱼类指数R、H'没有显著的空间差异(R: X² = 11.32, P = 0.13; H': X² = 12.38, P = 0.89),而指数E、D'呈现显著空间差异(E: X² = 14.98, P = 0.036; D': X² = 21.75, P = 0.003),Duncan氏检验显示横山、鲤鱼山湾、贡湖、漫山没有差异,均与平台山、竺山湖处有差异(图8)。

表2 太湖鳊鲃亚科鱼类数量及质量百分比的时间变化

Tab. 2 The time variation of the percentage by number and weight of Acheilognathinae in Lake Taihu

月份 Month	彩副鲃 <i>A. imberbis</i>		大口鲃 <i>A. macromandibularis</i>		大鳍鲃 <i>A. macropterus</i>		高体鳊鲃 <i>R. ocellatus</i>		革条副鲃 <i>A. himantegus</i>		兴凯鲃 <i>A. chankaensis</i>		中华鳊鲃 <i>R. sinensis</i>	
	N%	W%	N%	W%	N%	W%	N%	W%	N%	W%	N%	W%	N%	W%
3	14.00	9.67	0.00	0.00	34.00	29.24	0.00	0.00	0.00	0.00	52.00	61.09	0.00	0.00
4	1.45	0.57	0.00	0.00	54.40	59.71	0.00	0.00	0.00	0.00	43.85	39.60	0.29	0.11
5	5.48	1.20	0.00	0.00	23.29	20.02	21.92	12.74	5.48	10.34	43.84	55.70	0.00	0.00
6	15.85	12.38	0.00	0.00	8.54	16.59	17.07	4.46	6.10	16.61	48.78	48.92	3.66	1.04
7	8.13	2.83	0.35	0.16	3.53	7.63	1.41	0.69	0.71	1.04	77.03	83.35	8.83	4.28
8	25.00	9.49	0.00	0.00	12.50	14.71	0.00	0.00	6.25	2.37	56.25	73.43	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	9.48	12.80	0.00	0.00	23.70	28.65	66.82	58.55	0.00	0.00
10	11.62	14.97	0.00	0.00	19.01	20.43	0.00	0.00	1.41	1.52	67.96	63.08	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	21.74	24.61	0.00	0.00	2.17	2.23	76.09	73.16	0.00	0.00
12	1.45	0.59	0.00	0.00	17.39	23.98	0.00	0.00	0.00	0.00	80.43	75.36	0.72	0.07
1	0.00	0.00	0.00	0.00	67.86	87.15	0.00	0.00	0.00	0.00	22.62	10.15	9.52	2.69
2	0.00	0.00	0.00	0.00	89.85	75.25	0.00	0.00	0.00	0.00	10.47	24.75	0.00	0.00

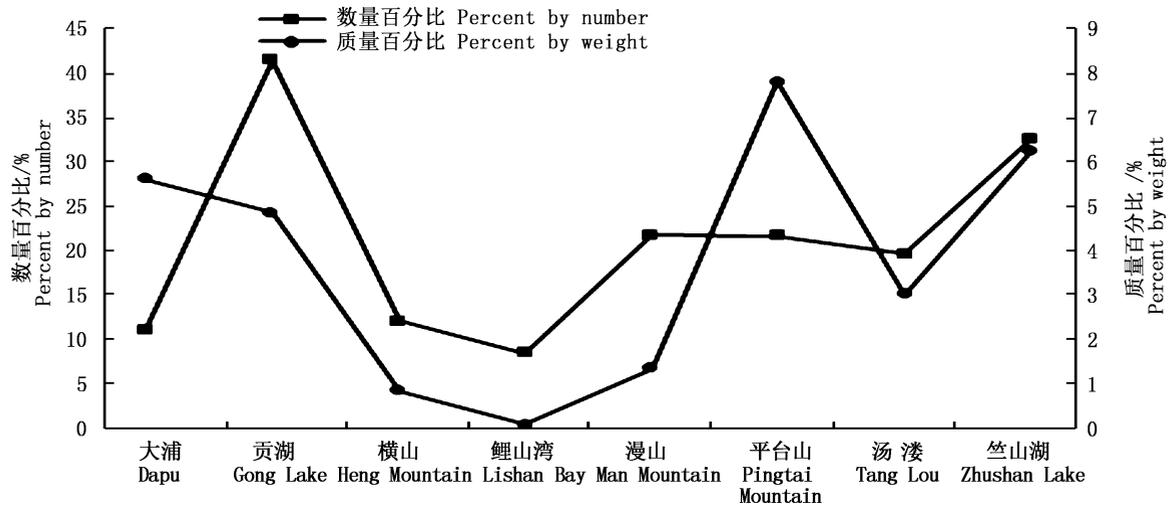


图 5 太湖鲢鳙亚科鱼类组成的空间变化
Fig. 5 The spatial variations of the Acheilognathinae in Lake Taihu

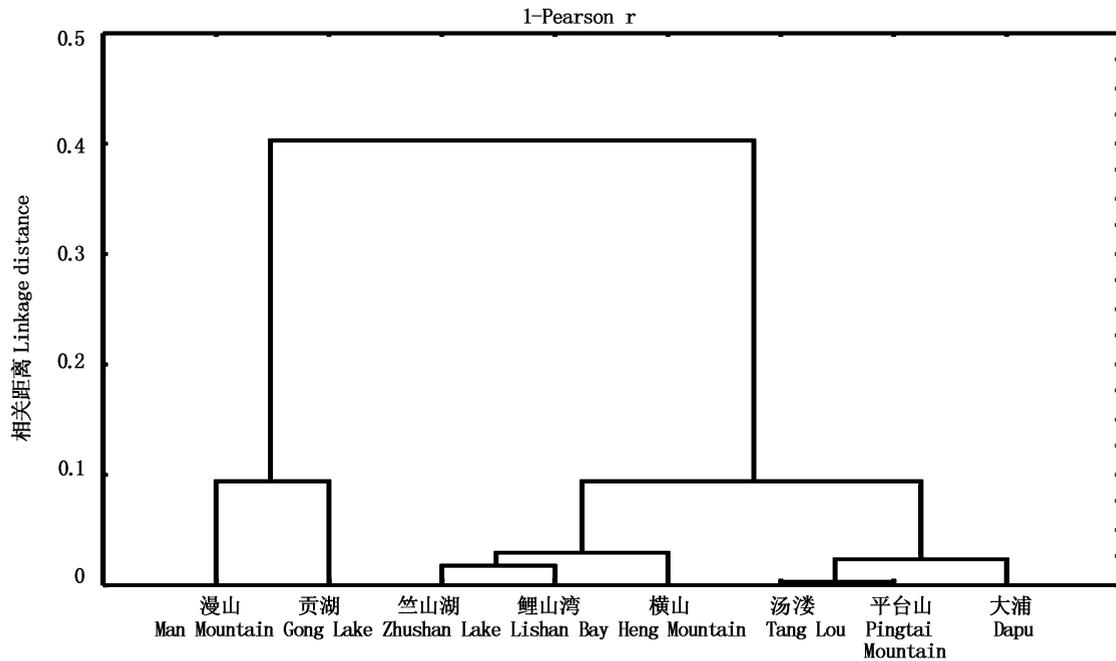


图 6 太湖鲢鳙亚科鱼类组成空间变化聚类分析
Fig. 6 Dendrogram of the spatial variation of Acheilognathinae in Lake Taihu

表 3 太湖鲢鳙亚科鱼类数量及质量百分比的空间变化

Tab. 3 The spatial variation of the percentage by number and weight of Acheilognathinae in Lake Taihu

站点 Station	彩副鲮 <i>A. imberbis</i>		大口鲮 <i>A. macromandibularis</i>		大鳍鲮 <i>A. macropterus</i>		高体鲮 <i>R. ocellatus</i>		革条副鲮 <i>A. himantegus</i>		兴凯鲮 <i>A. chankaensis</i>		中华鲮 <i>R. sinensis</i>	
	N%	W%	N%	W%	N%	W%	N%	W%	N%	W%	N%	W%	N%	W%
大浦	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00	0.00
贡湖	3.15	1.96	0.14	0.08	48.21	57.12	0.72	0.39	0.43	0.58	41.06	36.77	6.29	3.11
横山	0.00	0.00	0.00	0.00	28.57	31.07	0.00	0.00	1.43	1.78	70.00	67.15	0.00	0.00
鲤山湾	8.75	4.89	0.00	0.00	36.25	41.29	1.25	0.19	0.00	0.00	53.75	53.62	0.00	0.00
漫山	1.73	1.43	0.00	0.00	72.32	72.98	0.00	0.00	0.69	0.52	24.91	24.89	0.35	0.17
平台山	1.37	0.47	0.00	0.00	16.21	20.38	3.20	0.91	1.60	2.65	77.40	75.52	0.23	0.07
汤溇	6.23	1.68	0.00	0.00	16.12	27.30	5.13	3.21	0.00	0.00	72.16	67.76	0.37	0.06
竺山湖	8.10	7.19	0.00	0.00	30.48	43.27	0.00	0.00	8.57	8.03	52.70	41.45	0.16	0.05

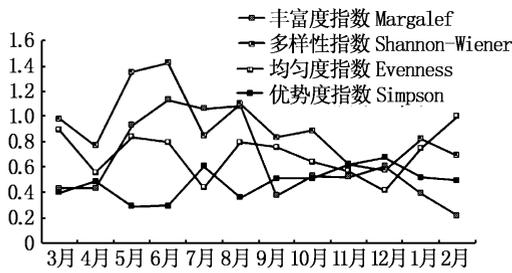


图 7 太湖鳊鲃亚科 4 种多样性指数的时间变化
Fig. 7 The time variation of four kinds of diversity index of *Acheilognathinae* in Lake Taihu

相关性显示多样性指数与丰富度 ($H' = 0.9859R + 0.0321, R^2 = 0.8249, P < 0.001$)、均匀度 ($H' = 0.9475E + 0.0093, R^2 = 0.8541, P < 0.001$)、物种数 ($H' = 0.2198S - 0.0281, R^2 = 0.8037, P < 0.001$) 等均呈显著正相关性, 与优势度 ($H' = -1.4859D' + 1.5178, R^2 = 0.7952, P < 0.001$) 呈显著负相关性, 物种多样性指数依靠各指数变化而变化, 与均匀度指数相关性最显著。

2.4 体长、体质量特征

2.4.1 体长组成

如图 9 为各鳊鲃亚科鱼类全长分布, 结果显示全长在 1.9 ~ 12.9 cm 之间, 平均 7.5 cm, 其中 6 ~ 8 cm 为鳊鲃亚科鱼类全长优势组。大鳍鲃、兴凯鲃为鳊鲃亚科鱼类的主要组成成分, 其全长组成无显著差异, 优势全长均为 6 ~ 8 cm, 与中华鳊鲃、高体鳊鲃 (4 ~ 6 cm) 相比稍高, 彩副鲃、革条副鲃 (7 ~ 9 cm) 相比稍低, 各月度、站点间鳊鲃亚科鱼类全长有明显差别 (图 9)。

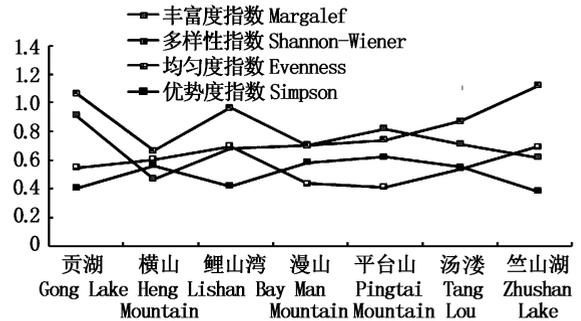


图 8 太湖鳊鲃亚科 4 种多样性指数的空间变化
Fig. 8 The spatial variation of four kinds of diversity index of *Acheilognathinae* in Lake Taihu

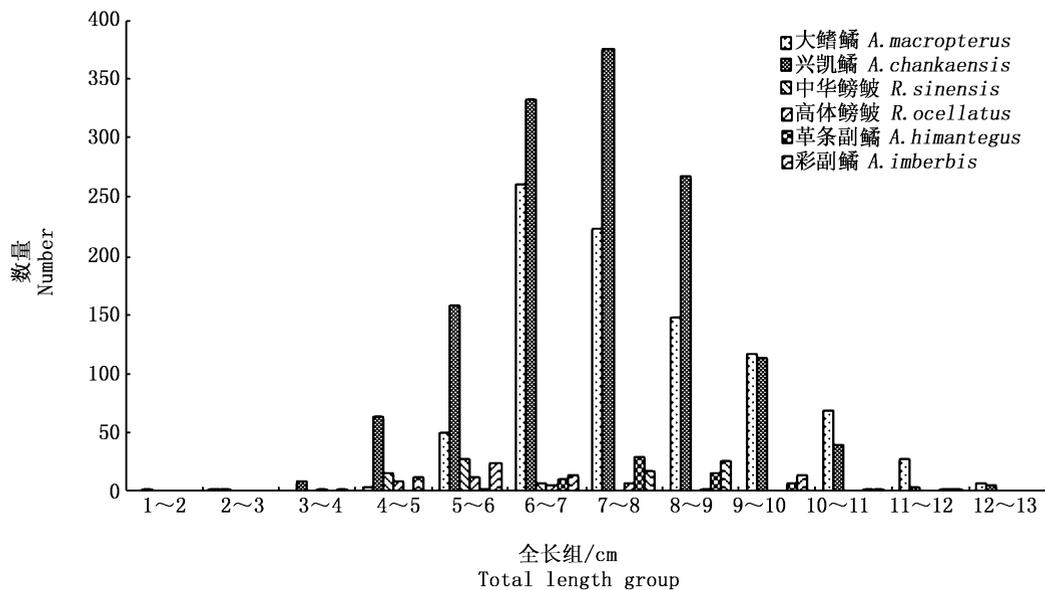


图 9 太湖鳊鲃亚科鱼类全长组成
Fig. 9 The composition of the total length of *Acheilognathinae* in Lake Taihu

2.4.2 体质量组成

如图 10 为各鳊鲃亚科鱼类体质量分布, 结果显示体质量在 0.3 ~ 31.9 g 之间, 平均 5.9 g,

其中 30% 的鱼类体质量在 2 ~ 4 g; 51.5% 的鱼类体质量小于 5 g, 86.7% 的鱼类体质量小于 10 g。大鳍鲃、兴凯鲃为鳊鲃亚科鱼类的主要组成成分

分,其体质量组成无显著差异,优势体质量均为 2 ~ 6 g,与中华鳊鲂、高体鳊鲂(1 ~ 3 g)相比稍高,

彩副鳊、革条副鳊(5 ~ 7 g)相比稍低,各月度、站点间鳊鲂亚科鱼类体质量有明显差别(图 10)。

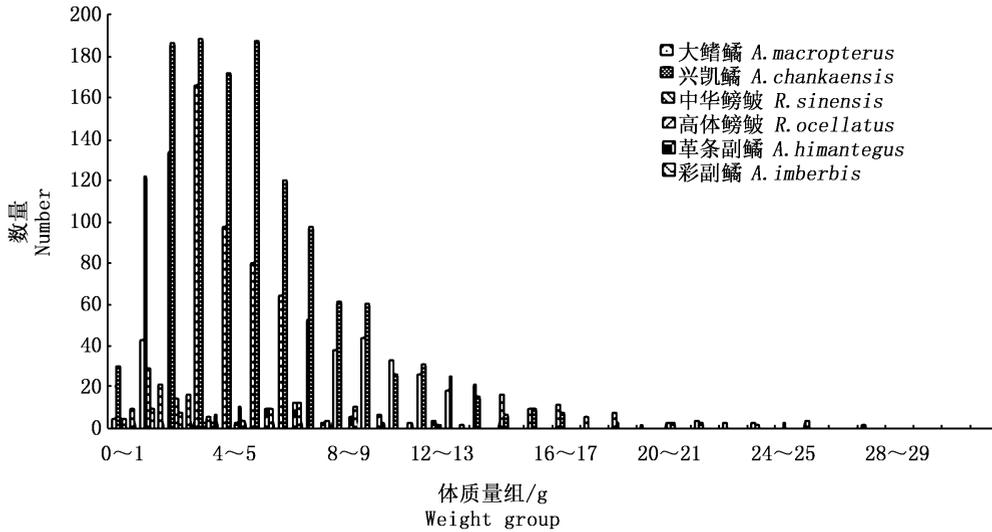


图 10 太湖鳊鲂亚科鱼类体质量组成

Fig. 10 The composition of the weight of Acheilognathinae in Lake Taihu

2.4.3 体长和体质量相互关系

使用幂指数公式($W = aL^b$)描述鱼类体长和体质量相互关系,结果显示,相关系数 R^2 在 0.724 1 ~ 0.910 2 之间,均值为 0.822 1,相关性高,幂指数 b 值为 2.703 5 ~ 3.139 1,均值为

2.901 6,与 $b = 3$ 没有显著性差异($P = 0.26$)。统计每种鱼类的 b 值与 $b = 3$ 的差异性显示,大鳊鲂、兴凯鳊有显著性差异,为异速生长;其他鱼类没有差异,为等速生长(表 4)。

表 4 太湖鳊鲂亚科鱼类体长和体质量相互关系

Tab.4 The relationship between length and weight of Acheilognathinae in Lake Taihu

种类 Species	体长和体质量相互关系 The relationship between length and weight					P
	n	a	b	95% CI of b	R ²	
彩副鳊 <i>Acheilognathus imberbis</i>	108	0.008 7	3.101 4	2.913 8 ~ 3.289 0	0.910 2	0.29
大鳊鲂 <i>Acheilognathus macropterus</i>	902	0.008 7	3.139 1	3.055 6 ~ 3.222 6	0.858 1	0.00
高体鳊鲂 <i>Rhodeus ocellatus</i>	34	0.019 5	2.713 5	2.332 1 ~ 3.094 9	0.8678	0.14
革条副鳊 <i>Acheilognathus himantegus</i>	67	0.022 4	2.804 1	2.422 6 ~ 3.180 1	0.770 5	0.30
兴凯鳊 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	1 371	0.022 3	2.703 5	2.615 0 ~ 2.792 0	0.724 1	0.00
中华鳊鲂 <i>Rhodeus sinensis</i>	48	0.013 7	2.948 1	2.512 9 ~ 3.383 3	0.801 7	0.81

3 讨论

3.1 鱼类组成变化

资料显示,20 世纪 60 ~ 80 年代,太湖鱼类记录有 82 ~ 106 种^[5,7],而 21 世纪以来,其发生了较大变化。一是种类数明显减少,本世纪的几次调查显示鱼类有 50 ~ 60 种^[4,6],减少了将近 50.0%,本次调查亦如此,仅采集到鱼类 50 种,其中洄游性鱼类(鲟形目、鲱形目等)、溪流性鱼类(马口鱼、宽鳍鱲等)及沿岸性产卵的定居性鱼类

(银鲴、蛇鮈)等数量稀少或没有采集到,可能与水利工程建设,捕捞强度过大及工业化、城市化、农业化污染等有关^[7];二是优势种发生变化,鱼类小型化趋势明显,20 世纪 80 年代,鲢、鳙、鲤、翘嘴鲌等大型鱼类占重要地位^[3],本世纪的调查显示,湖鲚、银鱼、鲫等中小型鱼类成为主要的组成成分,而鲢、鳙等大型鱼类占的比例较小^[5,6],本次调查鱼类中小型鱼类(鳊鲂亚科、鲴科等)数量占 80% 以上,而鲢、鳙、草鱼、鲤等大型鱼类仅占 6.4%,且 90% 的鱼类全长小于 20 cm,仅不到

5% 的鱼类体质量大于 300 g, 显示了小型鱼类占优的群落现状。新世纪以来, 对鲢、鳙、鲤等鱼类增殖力度越来越强, 但就目前的调查而言, 其资源衰退形式依然不容乐观, 一是其资源占总渔获物的比例较小, 二是在捕捞的鱼类中, 0 龄及 1 龄的鱼类较多, 能有效生长的大型鱼类较少^[22]。可见, 太湖鱼类主要优势种小型化趋势依然十分明显, 鱼类资源质量整体下滑。

3.2 太湖鳊鲂亚科鱼类群落时空变动

据记录太湖鳊鲂亚科鱼类共 2 属 11 种(中国 3 属 30 种^[14]), 其中兴凯鲮、大鳍鲮、中华鳊鲂等为太湖常见种类, 而无须鲮、大口鲮、方氏鳊鲂等为太湖稀少种类^[7]。本次调查太湖鳊鲂亚科鱼类 2 属 7 种, 其中兴凯鲮、大鳍鲮数量较多, 为本次调查常见种类, 大口鲮仅 1 尾, 另外一些由于其本身数量稀少而没有调查到(短须鲮、方氏鳊鲂等)。太湖大部分鱼类繁殖期为 4 月初至 7 月底, 其最适生长期是 6 月至 10 月^[7], 本次调查亦显示 4 月至 6 月渔获物数量较多, 而 6 月至 11 月生物量较高。《太湖封湖禁渔通告》显示每年 2 月至 8 月为太湖禁渔期, 禁止一切捕捞活动, 鱼类资源逐渐恢复, 鳊鲂亚科鱼类相对比重有所降低。本研究显示太湖鳊鲂亚科鱼类比例自 4 月至 8 月降低, 8 月达到最低。9 月开捕后的一段时间内, 大量捕捞活动导致主要经济鱼类数量骤减^[5], 而鳊鲂亚科鱼类由于其经济价值的原因, 其捕捞的力度较小, 因此相对比例增加, 随着冬季捕捞强度减少, 其比例又有一定的回升(图 3)。统计显示, 各月鱼类数量、质量的变化规律类似, 不同的是 4 月鱼类数量较高, 而质量却相对降低, 可能跟 4 月采集较多的大型鱼类有关, 事实上 4 月采到的鲤亚科、鲢亚科等大型鱼类较多。

太湖鳊鲂亚科鱼类组成有明显的时空差异。其中 5 月至 12 月主要为兴凯鲮(70% 以上), 其余时间为大鳍鲮(80% ~ 90%)。整体而言, 1 月至 4 月太湖鱼类捕捞量较低, 可能与入冬之后水温度较低有关(每年 12 月至次年 4 月水温较低, 其中 1 月水温最低^[23])。通常情况, 水温较低, 鱼类摄食等新陈代谢活动减弱甚至进入休眠状态, 其被捕获的概率减低, 许多调查也显示水温是影响刺网鱼类丰度的主要影响因素之一^[24]。大鳍鲮是鳊鲂亚科中体型最大的种类, 在水温较低, 鱼类活动相对较弱的情况下, 其被捕获的概率相

对较高, 因此此段时间内大鳍鲮比例较高。随着水温上升, 捕获其他种鳊鲂亚科鱼类的概率增加, 使得大鳍鲮的比例减少, 最终兴凯鲮占优势(兴凯鲮为太湖鳊鲂亚科鱼类第一优势类群, 大鳍鲮为第二优势类群^[7])。不同湖区鱼类组成差异, 可能与各湖区浮游生物、水生植物、底栖生物等资源的分布格局有关^[25-28], 北部湖区营养盐较高, 水质较差, 鱼类资源较少^[29], 东部湖区水草丰富, 能为鱼类提供良好的隐蔽场所和充足的食物^[27-28]。本次调查样点分布于太湖各湖区, 调查发现不同湖区鳊鲂亚科鱼类数量、质量差异明显。贡湖、竺山湖等数量较高: 一方面贡湖区具有丰富的水草, 为鳊鲂亚科鱼类提供很好的繁殖、保护场所(贡湖水生植被分布区面积占总水域面积的 45.35%, 为典型半草型湖泊^[30]); 另一方面, 竺山湖区浮游生物、藻类资源丰富, 水体透明度较差, 影响了以小型鱼类为食的鱼类的捕食行为^[31], 有利于小型鱼类生长(太湖北部靠近西北沿岸及竺山湖等水体营养盐浓度明显高于其他区域^[26])。另外, 可能跟鳊鲂亚科鱼类食性有关, 鳊鲂亚科鱼类摄食浮游生物、藻类、植物碎屑等^[7], 而贡湖、竺山湖等水域浮游生物、藻类含量较高, 有利于小型浮游食性鱼类形成种群。汤溇等湖区有大面积的围网养殖, 湖区面积的 90% 左右被沉水植物或浮叶植物覆盖, 为典型的草型生态系统^[27], 为鳊鲂亚科鱼类生存提供很好的栖息、索饵、繁殖场地。此外, 横山、鲤山湾等偏东部湖区, 尽管其沉水植物丰富, 但是鳊鲂亚科鱼类数量比例却相对不高, 可能与食物(鲤山湾、横山属于保护区, 其水质较好, 浮游生物、藻类相对较少^[26])和水域环境(透明度高, 导致其被肉食性鱼类捕食的概率较高)有关。聚类显示: 湖心偏东及北部湖湾漫山、贡湖等鳊鲂亚科鱼类组成相似, 大鳍鲮占优势; 汤溇、湖心区平台山等组成相似, 兴凯鲮占优势, 可能跟其较高的水草覆盖率及鱼类本身的食性有关(兴凯鲮食性广泛, 主要有浮游生物, 幼嫩的水生植物及腐屑等^[7]), 其他种类数量较少, 但多分布在竺山湖、贡湖等藻类较多及鲤山湾、汤溇等水草较多的水域。

3.3 太湖鳊鲂亚科鱼类多样性及其与主要鱼类间的相互关系

高强度的捕捞、环境污染及人类活动等都能导致鱼类多样性指数的降低^[32]。太湖鳊鲂亚科

鱼类多样性指数在各时间段(0.576 4 ~ 1.428 2)和各湖区(0.668 2 ~ 1.124 2)尺度上都表现偏低,低于 Magurran 提出的鱼类多样性指数的一般范围(1.5 ~ 3.5),表明太湖鳊鱼亚科鱼类资源衰退及优势种单一化等。有结果显示,鳊鱼、虾类等以浮游动物为食物的小型水生生物类群,可能鲤、鲫数量的增加对其有促进作用,而与鲢鱼间有食物上的相互竞争^[33]。本次调查显示,鳊鱼亚科鱼类数量与鲤亚科鱼类($P=0.042$)、鲢亚科鱼类($P=0.001$)均呈显著正相关性,这种浮游生物食性鱼类产量随着鲤、鲫产增加而增加的现象和一些研究结论接近^[34]。对鳊鱼亚科鱼类间进行相关性分析显示,大鳍鱮和兴凯鱮呈显著正相关性($P=0.001$),表明太湖 2 种优势鳊鱼亚科鱼类有相互促进的关系,有利于整个鳊鱼亚科鱼类群落的稳定。

参考文献:

- [1] 秦伯强,胡维平,陈伟民,等. 太湖水环境演化过程与机理[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
QIN B Q, HU W P, CHEN W M, et al. Process and mechanism of environmental changes of the Taihu Lake[M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [2] 朱松泉. 2002-2003 年太湖鱼类学调查[J]. 湖泊科学, 2004, 16(2): 120-124.
ZHU S Q. Ichthyological survey of Lake Taihu during 2002-2003[J]. Journal of Lake Sciences, 2004, 16(2): 120-124.
- [3] 谷孝鸿,白秀玲,江南,等. 太湖渔业发展及区域设置与功能定位[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2247-2254.
GU X H, BAI X L, JIANG N, et al. Fishery development, regional classification and functional positioning of Lake Taihu[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2247-2254.
- [4] 刘恩生,刘正文,陈伟民,等. 太湖鱼类产量、组成的变动规律及与环境的关系[J]. 湖泊科学, 2005, 17(3): 251-255.
LIU E S, LIU Z W, CHEN W M, et al. Changes in the yield and composition of the fish catches and their relation to the environmental factors in Lake Taihu[J]. Journal of Lake Sciences, 2005, 17(3): 251-255.
- [5] 朱松泉,刘正文,谷孝鸿. 太湖鱼类区系变化和渔获物分析[J]. 湖泊科学, 2007, 19(6): 664-669.
ZHU S Q, LIU Z W, GU X H. Changes of the fish fauna and fish yield analysis in Lake Taihu [J]. Journal of Lake Sciences, 2007, 19(6): 664-669.
- [6] 毛志刚,谷孝鸿,曾庆飞,等. 太湖鱼类群落结构及多样性[J]. 生态学杂志, 2011, 30(12): 2836-2842.
MAO Z G, GU X H, ZENG Q F, et al. Community structure and diversity of fish in Lake Taihu[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(12): 2836-2842.
- [7] 倪勇,朱成德. 太湖鱼类志[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005.
NI Y, ZHU C D. Fishes of the Taihu Lake[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2005.
- [8] SCHEFFER M, CARPENTER S, FOLEY J A, et al. Catastrophic shifts in ecosystems[J]. Nature, 2001, 413(6856): 591-596.
- [9] 陈欣. 我国鳊鱼亚科鱼类遗传多样性及系统发育研究[D]. 新乡: 河南师范大学, 2011.
CHEN X. The study of genetic diversity and molecular phylogenetic of Acheilognathinae [D]. Xinxiang: Henan Normal University, 2011.
- [10] 陈校辉,倪勇,伍汉霖. 江苏省鳊鱼属(*Rhodeus*) 鱼类的研究[J]. 海洋渔业, 2005, 27(2): 89-97.
CHEN X H, NI Y, WU H L. Fishes of genus *Rhodeus* Agassiz in Jiangsu Province, China[J]. Marine Fisheries, 2005, 27(2): 89-97.
- [11] 朱玉蓉,刘焕章. 大鳍 基于细胞色素 b 基因序列的遗传变异及生物地理过程[J]. 水生生物学报, 2006, 30(2): 134-140.
ZHU Y R, LIU H Z. Genetic diversity and biogeographical process of *Acheilognathus macropterus* revealed by sequence variations of mitochondrial cytochrome b gene [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2006, 30(2): 134-140.
- [12] BOHLEN J, ÁLECHTOVÁ V, BOGUTSKAYA N, et al. Across Siberia and over Europe: phylogenetic relationships of the freshwater fish genus *Rhodeus* in Europe and the phylogenetic position of *R. sericeus* from the River Amur [J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2006, 40(3): 856-865.
- [13] 张觉民,何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
ZHANG J M, HE Z H. A manual for investigation of natural resources in inland waters[M]. Beijing: Agriculture Press, 1991.
- [14] 倪勇,伍汉霖. 江苏鱼类志[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
NI Y, WU H L. Fishes of Jiangsu province[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [15] HUBBS C L, LAGLER K F. Fishes of the Great Lakes region [M]. Michigan: University of Michigan Regional, 2004.
- [16] PINKAS L, OLIPHANT S M, IVERSON I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [R]. State of California: California Department of Fish and Game, Fish Bulletin. 1971: 1-105.
- [17] 程济生,俞连福. 黄、东海冬季底层鱼类群落结构及多样性变化[J]. 水产学报, 2004, 28(1): 29-34.
CHENG J S, YU L F. The change of structure and diversity of demersal fish communities in the Yellow Sea and East China Sea in winter[J]. Journal of Fisheries of China, 2004,

- 28(1): 29-34.
- [18] LUDWIG J A, REYNOLDS J F. Statistical ecology, a primer on methods and computing [J]. *Journal of Wildlife Management*, 1990, 54(1): 197-198.
- [19] KREBS C J. *Ecological methodology* [M]. New York: Harper Collins Publishers, 1989.
- [20] HU Z J, WANGS Q, WU H, et al. Temporal and spatial variation of fish assemblages in Dianshan Lake, Shanghai, China [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2014, 32(4): 799-809.
- [21] RICKER W E. Linear regressions in fishery research [J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1973, 30(3): 409-434.
- [22] 孙明波, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等. 基于水声学方法的太湖鱼类空间分布和资源量评估 [J]. *湖泊科学*, 2013, 25(1): 99-107.
SUN M B, GU X H, ZENG Q F, et al. Assessment of fish spatial distribution and biomass in Lake Taihu using hydroacoustic method [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2013, 25(1): 99-107.
- [23] 张蓉, 杨龙元, 谷孝鸿, 等. 东太湖典型湖区水环境特征时空变化分析 [J]. *水利学报*, 2007, 38(S1): 597-605.
ZHANG R, YANG L Y, GU X H, et al. Study on the water environmental characters for spatial and temporal variation in the typical districts of Lake East Tai [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, 38(S1): 597-605.
- [24] 史赞荣, 晁敏, 沈新强. 长江口张网鱼类群落结构特征及月相变化 [J]. *海洋学报*, 2014, 36(2): 81-92.
SHI Y R, CHAO M, SHEN X Q. Characteristics and monthly variations of set net fish community structure in the Changjiang River estuary [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2014, 36(2): 81-92.
- [25] QIN B Q, XU P Z, WU Q L, et al. Environmental Issues of Lake Taihu, China [J]. *Hydrobiologia*, 2007, 581(1): 3-14.
- [26] 冯露露, 李正魁, 周涛. 太湖浮游植物和各形态无机氮的时空分布特征 [J]. *湖泊科学*, 2012, 24(5): 739-745.
FENG L L, LI Z K, ZHOU T. Temporal and spatial distributions of phytoplankton and various forms of inorganic nitrogen in Lake Taihu [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2012, 24(5): 739-745.
- [27] 何俊, 谷孝鸿, 刘国锋. 东太湖水生植物及其与环境的相互作用 [J]. *湖泊科学*, 2008, 20(6): 790-795.
HE J, GU X H, LIU G F. Aquatic macrophytes in East Lake Taihu and its interaction with water environment [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2008, 20(6): 790-795.
- [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 [J]. *生态学报*, 2005, 25(7): 1541-1548.
GU X H, ZHANG S Z, BAI X L, et al. Evolution of community structure of aquatic macrophytes in Lake East Taihu and its wetlands [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1541-1548.
- [29] 朱广伟. 太湖富营养化现状及原因分析 [J]. *湖泊科学*, 2008, 20(1): 21-26.
ZHU G W. Eutrophic status and causing factors for a large, shallow and subtropical Lake Taihu, China [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2008, 20(1): 21-26.
- [30] 赵凯, 李振国, 魏宏农, 等. 太湖贡湖湾水生植被分布现状(2012年) [J]. *湖泊科学*, 2015, 27(3): 421-428.
ZHAO K, LI Z G, WEI H N, et al. The distribution of aquatic vegetation in Gonghu Bay, Lake Taihu, 2012 [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2015, 27(3): 421-428.
- [31] KE Z X, XIE P, GUO L G, et al. In situ study on the control of toxic *Microcystis* blooms using phytoplanktivorous fish in the subtropical Lake Taihu of China: a large fish pen experiment [J]. *Aquaculture*, 2007, 265(1/4): 127-138.
- [32] WASHINGTON H G. Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems [J]. *Water Research*, 1984, 18(6): 653-694.
- [33] 刘恩生, 刘正文, 鲍传和, 等. 太湖鲢鱼和鳊、鳙鱼的食物组成及相互影响分析 [J]. *湖泊科学*, 2007, 19(4): 451-456.
LIU E S, LIU Z W, BAO C H, et al. Food content and the mutual effects between *Hypophthalmich thymolatrix* (Cuvier et Valenciennes) and *Aristichthys nobilos* (Richardson) and *Coilia ectenes taihuensis* Yen et Lin in Lake Taihu [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2007, 19(4): 451-456.
- [34] RICHARDSON W B, WICKHAM S A, THRELKELD S T. Foodweb response to the experimental manipulations of a benthivore (*Cyprinus carpio*), zooplanktivore (*Menidia beryllina*) and benthic insects [J]. *Archiv Für Hydrobiologie*, 1990, 119(2): 143-165.

Spatial and temporal variations of *Acheilognathinae* in Lake Taihu

XU Dongpo, FAN Yingchun, ZHOU Yanfeng, CHEN Yongjin, LIU Kai

(Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of Yangtze River, Freshwater Fisheries Research Center, CAFS, Wuxi 214081, Jiangsu, China)

Abstract: From March 2013 to February 2014, the gill net and cages were conducted on the fish resources in 8 sampling sites of Lake Taihu, aiming to understand the characteristics of *Acheilognathinae* community structure and diversity in the lake. A total of 50 fish species were collected, belonging to 23 families, and 8 orders, among which, *Acheilognathinae*, *Gobioninae* and *Engraulidae* had the larger species number and had an obvious tendency of fish resources becoming smaller-scale; as compared with historical data, 57 fish species were not collected, the fish species number and composition of dominant species changed greatly. A total of 7 *Acheilognathinae* species were collected, belonging to 2 families, the *Acheilognathus chankaensis* and *Acheilognathus macropterus* were the main species and allometric growth, other fish were isometric growth. The cluster analysis showed the significant differences in spatial and temporal aspects among the *Acheilognathinae* in Lake Taihu, clustered into two groups according to the time, from May to December for a group, and the index of $N\%$ 、 $W\%$ and IRI showed dominant species was *Acheilognathus chankaensis*, other time was *Acheilognathus macropterus*; clustered into two groups according to the space, the Manshan and Gonghu for a group and dominant species was *Acheilognathus chankaensis*, and other station was *Acheilognathus chankaensis*. It showed that the diversity index was below the average (1.5 – 3.5). They were closely related between spatial and temporal variations of fish and distribution patterns of nutrients, environmental factors, plankton, and aquatic plants in the lake.

Key words: *Acheilognathinae*; cluster analysis; community diversity; spatial and temporal variations; length and weight