

doi: 10.7541/2020.071

太湖五里湖仔稚鱼时空分布特征

代培¹ 周游² 任鹏¹ 王银平¹ 徐跑¹ 刘凯¹

(1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业农村部长江下游渔业资源环境科学观测实验站, 无锡 214081;

2. 江南大学食品学院, 无锡 214122)

摘要: 为探究五里湖仔稚鱼群落结构及分布特征, 于2016年4—10月对五里湖仔稚鱼进行系统调查。期间共采集仔稚鱼70678尾, 共鉴定出鱼类20种(属), 隶属于7目8科18属。五里湖仔稚鱼密度均值为3825尾/100 m³, 主要优势种为鲃属(*Hemiculter* sp.), 其数量占比为68.76%。五里湖仔稚鱼主要采集于4—8月, 密度高峰期为6月, 各物种密度高峰期存在差异, 最早的为鲤(*Cyprinus carpio*)、鲫(*Carassius auratus*, 4月), 最晚的为短吻银鱼属(*Salangichthys* sp., 8—9月)。五里湖仔稚鱼分布具有显著的空间差异, 沿岸带仔稚鱼密度显著高于($P<0.05$)敞水区, 密度分别为5650和310尾/100 m³。西五里湖仔稚鱼的密度高于东五里湖, 密度分别为4482和3600尾/100 m³。典范对应分析结果显示, 水温、溶解氧、浮游植物和浮游动物密度是与仔稚鱼分布显著相关的环境因子($P<0.05$)。研究结果显示, 五里湖鱼类主要繁殖期为4—8月, 主要产卵和育幼水域为沿岸带, 其中西五里湖的育幼功能优于东五里湖, 因此进一步维持对西五里湖的生境保护, 加强东五里湖沿岸带植被恢复及入湖支流水质监控, 控制外源污染物, 对促进五里湖生境优化及鱼类资源自然增殖具有积极意义。

关键词: 五里湖; 仔稚鱼; 时空分布; 繁殖期; 繁殖区

中图分类号: S932.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2020)03-0577-10

五里湖(119°13'12"—119°17'11"E, 31°29'54"—31°32'50"N)又称蠡湖, 是太湖延伸到无锡的内湖, 为无锡市规划的人文、城市及生态湖区。湖体东西长约6.0 km, 南北宽0.3—1.8 km, 宝界桥将五里湖分为东五里湖和西五里湖, 总面积约为8.6 km²。20世纪60年代后, 随着沿湖经济迅速发展, 人类活动不断加剧, 生活和工业污水入湖激增, 五里湖成为太湖水污染较严重的水域, 湖区水生植被逐渐消亡, 水质常年为V类^[1-3]。2002年, 随着“太湖污染控制与水体修复技术及工程示范”项目启动, 无锡市政府对五里湖实施了全面的生态清淤、污水截流、退渔还湖、生态修复、湖岸整治和环湖林带建设等工程^[4-6], 并于2006年起实施了保水渔业项目。经生态治理后, 五里湖水环境得到明显改善, 生态系统的净化能力和稳定性

显著提高^[5]。

仔稚鱼是处在早期生活史阶段的鱼类资源, 其资源量反映了鱼类的繁殖规模和补充群体变动趋势, 是引起种群数量变动和年龄结构变化的主要原因; 其时空分布格局反映了自然水域鱼类繁殖期、产卵场及早期栖息地分布, 因此鱼类早期资源研究是鱼类生态学研究的重要内容^[7]。目前, 国内有关鱼类早期资源调查主要集中于长江干流、近海及河口水域, 湖泊鱼类早期资源研究较少, 但湖泊作为重要的水域类型, 其鱼类早期资源的研究对湖泊鱼类资源动态及湖泊渔业资源养护均有重要意义。本研究以相对封闭的五里湖为研究水域, 于2016年4—10月对五里湖仔稚鱼开展调查研究, 拟掌握该水域仔稚鱼群落特征、数量特征和时空分布特征, 同时探究影响仔稚鱼时空

收稿日期: 2019-03-27; **修订日期:** 2019-08-24

基金项目: 江苏省水生生物资源重大专项(ZYHB16); 江苏省自然科学基金(BK2012093); 国家科技基础条件平台项目(2015DKA30470)资助 [Supported by the Aquatic Biological Resources Major Project of Jiangsu Province (ZYHB16); the Natural Science Foundation of Jiangsu Province (BK2012093); National Science and Technology Basic Condition Platform Project (2015DKA30470)]

作者简介: 代培(1991—), 女, 硕士; 研究方向为水生生态学。E-mail: 1376720970@qq.com

通信作者: 刘凯, E-mail: liuk@ffrc.cn

分布的重要环境因子, 以期为该水域及相关水域生态容量评估、栖息地适应性评价以及生态修复效果评估等系统生态学研究积累科学素材。

1 材料与方法

1.1 采样点布设与采样时间

本研究共布设13个采样点, 其中敞水区4个(1—4号), 沿岸带9个(5—13号, 图1)。调查期为2016年4—8月, 每月3个频次, 9月2个频次, 10月1个频次(表1)。同步测定水温(WT)、溶解氧(DO)、pH、浊度(Tur)和透明度(SD), 并对浮游生物进行采样分析。

1.2 样品采集与分析

(1)仔稚鱼采集: 使用浅水I型浮游生物网(网口直径为50 cm, 网身总长度为1.2 m, 网目尺寸为0.45 mm)水平拖拽采集, 网口固定流量计用于记录过水量, 样品的采集水层为水面以下80 cm以内。样品采集时间为上午7:00至10:00, 采集到的样品现场立即用10%的福尔马林溶液进行固定保存。(2)鉴定与计数: 参考《长江鱼类早期资源》等资料^[7, 10]根据仔稚鱼外部形态对所有样品进行鉴定计数, 所有样品封存备查。

1.3 数据分析方法

利用过水体积及仔稚鱼个体数量计算仔稚鱼密度, 其定义为 100 m^3 水体中的个体数量; 利用仔稚鱼个体数和出现频率计算仔稚鱼优势度, 且以优势度指数 $Y > 0.02$ 定为优势种, 计算公式为 $Y = (N_i/N)f_i$, 其中 N_i 为第*i*种的个体数, N 为所有种类总个体数, f_i 为第*i*种在总采样次数中采集到的频

率^[11]; 利用Arcgis10.2绘制仔稚鱼空间分布图; 利用CANOCO4.5软件进行典范对应分析(CCA), 研究五里湖仔稚鱼密度与环境因子的相关关系^[12]。

2 结果

2.1 水体理化指标

各月现场测定的水体理化指标均值如表2, 水温、浊度和透明度月间差异较大, 其中水温在4月最低, 8月最高; 浊度均值为 (21.25 ± 10.31) NTU, 其4月最低, 9月最高; 透明度均值为 (43.66 ± 15.89) cm, 其时间特征与浊度呈负相关; pH和溶解氧月间差异较小, 均值分别为 (8.36 ± 0.48) 和 (8.26 ± 2.52) mg/L, 二者最低值均出现于5月, 最大值分别出现于10月和9月。

2.2 仔稚鱼群落结构

群落组成 调查共采仔稚鱼70678尾, 共鉴定出鱼类20种(属), 隶属于7目8科18属, 其中有3类仅鉴定到属, 分别为短吻银鱼属、鲇属和鮡属。整体上五里湖仔稚鱼群落结构以鲤形目占优, 为11种(表3)。

优势种组成 仔稚鱼统计结果显示, 就时间特征而言, 各月共出现优势种11种(属), 其中5月最多, 共8种; 4月、8月和10月最少, 均为2种。就空间特征而言, 各采样点共出现优势种7种(属), 其中3—12号采样点最多, 共3种; 1、2和13号采样点最少, 共2种。就物种而言, 鲇属和子陵吻虾虎鱼(*Rhinogobius giurinus*)生态优势度较高, 在时间尺度上, 子陵吻虾虎鱼为6个月的共有优势种, 鲇属为5个月的共有优势种; 在空间尺

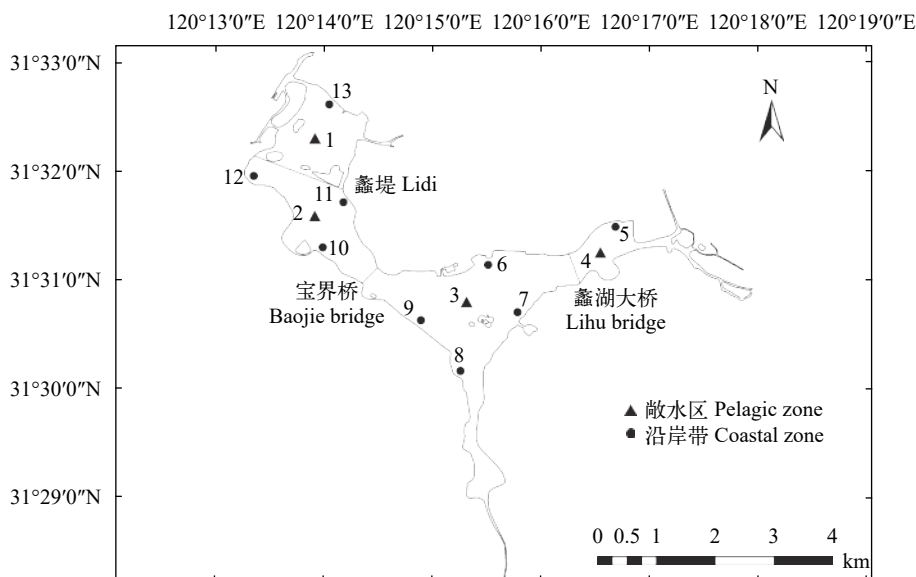


图1 五里湖采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites in Lake Wuli

表 1 五里湖仔稚鱼采样时间

Tab. 1 Sampling times of the fish larvae and juveniles in Lake Wuli

月份 Month	第一频次采样时 间The First sampling time	第二频次采样时 间The Second sampling time	第三频次采样时 间The Third sampling time
4	4月7日	4月11日	4月19日
5	5月12日	5月22日	5月28日
6	6月13日	6月21日	6月26日
7	7月7日	7月16日	7月26日
8	8月2日	8月16日	8月26日
9	9月6日	9月19日	/
10	10月11日	/	/

度上, 鳢属为13个采样点共有优势种, 子陵吻虾虎鱼为11个采样点共有优势种(表 4和表 5)。

2.3 仔稚鱼资源密度

时间特征 五里湖仔稚鱼密度均值为3825尾/100 m³, 峰值出现在6月26日, 为15974 尾/100 m³, 谷值出现在10月11日, 为2尾/100 m³。仔稚鱼密度时间变化可划分为三个时段, 分别为4月、5—7月、8—10月, 三个时段均表现出先升高后降低的趋势, 三个峰值出现的时间分别为4月11日、6月26日和8月16日(图 2)。各物种中鳢属密度均值最高, 为2630 尾/100 m³, 占全湖仔稚鱼密度均值

表 2 五里湖水体理化指标

Tab. 2 Physicochemical parameters of Lake Wuli

指标Item	月份Month						
	4月April	5月May	6月June	7月Jul.	8月Aug.	9月Sep.	10月Oct.
Tur (NTU)	10.88±4.45	14.51±6.58	29.68±11.16	18.09±7.52	23.48±6.85	30.75±7.53	26.14±5.53
pH	8.38±0.36	8.7±0.36	8.68±0.37	8.47±0.46	8.15±0.43	7.88±0.33	7.79±0.14
WT (°C)	18.5±2.1	22.6±1.3	26.6±1.1	29.7±2.8	31.5±0.8	25.9±1.7	20.9±0.4
DO (mg/L)	10.5±2.12	10.87±1.97	8.13±1.63	8.37±1.72	6.09±1.53	5.5±0.99	7.35±0.77
SD (cm)	54.55±19.9	53.26±16.55	41.26±14.16	49.67±7.24	36.82±9.75	28.33±3.77	28.8±5.10

表 3 五里湖仔稚鱼物种组成

Tab. 3 Species composition of larvae and juveniles in Wuli Lake

目Order	物种Species	月份Month										仔稚鱼出现时期Period of appearance of ichthyoplankton
		4	5	6	7	8	9	10				
鲱形目Clupeiformes	刀鲚 <i>Coilia nasus</i>				+	+	+	+				6月13日—9月9日
颌针鱼目Beloniformes	间下鱈 <i>Hyporhamphus intermedius</i>				+	+	+	+	+			5月21日—9月19日
鲮形目Cyprinodontiformes	青鳉 <i>Oryzias latipes</i>					+						6月26日
胡瓜鱼目Osmeriformes	短吻银鱼属 <i>Salangichthys</i> sp.				+	+	+	+	+			6月21日—10月11日
鲤形目Cypriniformes	鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>					+	+	+				7月7日—9月9日
	鳢属 <i>Hemiculter</i> sp.				+	+	+	+	+	+		5月12日—10月11日
	鲫 <i>Carassius auratus</i>				+	+	+	+				4月7日—7月16日
	鲤 <i>Cyprinus carpio</i>				+	+	+					4月11日—6月21日
	麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>				+	+	+					5月12日—7月16日
	黑鳍鳉 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>				+							5月12日—5月24日
	兴凯鳊 <i>Acheilognathus chankaensis</i>				+	+	+	+	+			5月21日—9月19日
	中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>				+	+	+		+			5月12日—9月9日
	高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>					+						6月13日—6月26日
	红鳍原鲮 <i>Cultrichthys erythropterus</i>				+	+	+	+				6月4日—8月2日
鲈形目Perciformes	鮡属 <i>Culter</i> sp.				+	+	+					5月24日—8月26日
	小黄鲮 <i>Micropercops swinhonis</i>				+							6月21日—6月26日
	子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>				+	+	+	+	+	+		5月12日—10月11日
	波氏吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius cliffordpopei</i>				+	+	+	+	+			5月24日—9月19日
	粘皮鲯虾虎鱼 <i>Mugilogobius myxodermus</i>					+			+			6月21日—9月9日
	黄颡鱼 <i>Pseudobagrus fulvidraco</i>				+	+						5月24日—6月26日

注: +代表采集到仔稚鱼

Note: + represents fish larvae

表 4 五里湖仔稚鱼优势度及优势种的时间特征

Tab. 4 Monthly variation in the dominant species of larvae and juveniles in Lake Wuli

物种Species	月份Month							
	4月 April	5月 May	6月 June	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sep.	10月 Oct.	
鲫 <i>C. auratus</i>	0.64	0.22	—	—	—	—	—	
鲤 <i>C. carpio</i>	0.04	—	—	—	—	—	—	
波氏吻虾虎鱼 <i>R. cliffordpopei</i>	—	0.10	0.02	0.03	—	—	—	
鲮属 <i>Hemiculter</i> sp.	—	5.10	0.77	0.79	0.78	0.45	—	
间下鲮 <i>H. intermedius</i>	—	0.11	—	—	—	—	—	
麦穗鱼 <i>P. parva</i>	—	0.10	—	—	—	—	—	
兴凯鲮 <i>A. chankaensis</i>	—	3.78	0.03	—	—	—	—	
中华鲮 <i>R. sinensis</i>	—	0.29	—	—	—	—	—	
子陵吻虾虎鱼 <i>R. giurinus</i>	—	1.11	0.09	0.10	0.20	0.25	0.03	
红鳍原鲮 <i>C. erythropterus</i>	—	—	—	0.02	—	—	—	
短吻银鱼属 <i>Salangichthys</i> sp.	—	—	—	—	—	0.10	0.10	

的68.76%；鲫密度均值为410 尾/100 m³，占10.72%；子陵吻虾虎鱼的密度均值为356 尾/100 m³，占9.31%；兴凯鲮(*Acheilognathus chankaensis*)密度均值为214 尾/100 m³，占5.60%，其余物种密度占比比较低(图 3)。

对比分析优势物种资源密度时间特征(图 4)，鲫和鲤繁殖时间最早，二者密度高峰期为4月，密度峰值出现于4月11日和4月19日，分别为3946和559尾/100 m³。除短吻银鱼属外，其余物种在5月均有采集，其中兴凯鲮和麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)密度高峰期相对较早，主要集中在5—6月，兴凯鲮密度峰值出现于5月24日，为1964 尾/100 m³，麦穗鱼密度峰值出现于6月13日，为187尾/100 m³；鲮属、间下鲮(*Hyporhamphus intermedius*)和子陵吻虾虎鱼繁殖期较长，其中鲮属和子陵吻虾虎鱼，密度高峰期出现于6—8月，二者密度峰值出现在6月26日和6月21日，分别为13775和1626尾/

表 5 五里湖仔稚鱼优势度及优势种的空间特征

Tab. 5 Spatial variation in the dominant species of larvae and juveniles in Lake Wuli

物种Species	采样点Sampling site												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
鲮属 <i>Hemiculter</i> sp.	0.35	0.62	0.50	0.50	0.28	0.65	0.55	0.59	0.46	0.24	0.35	0.60	0.66
子陵吻虾虎鱼 <i>R. cliffordpopei</i>	0.17	0.06	0.09	0.16	0.09	0.04	0.06	0.06	0.08	—	—	0.09	0.03
间下鲮 <i>H. intermedius</i>	—	—	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
波氏吻虾虎鱼 <i>R. cliffordpopei</i>	—	—	—	0.03	—	0.02	—	—	—	—	—	—	—
红鳍原鲮 <i>C. erythropterus</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.03	—
鲫 <i>C. auratus</i>	—	—	—	—	0.02	—	0.02	—	0.05	0.10	0.09	—	—
兴凯鲮 <i>A. chankaensis</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.02	—	0.05	0.13	—	—

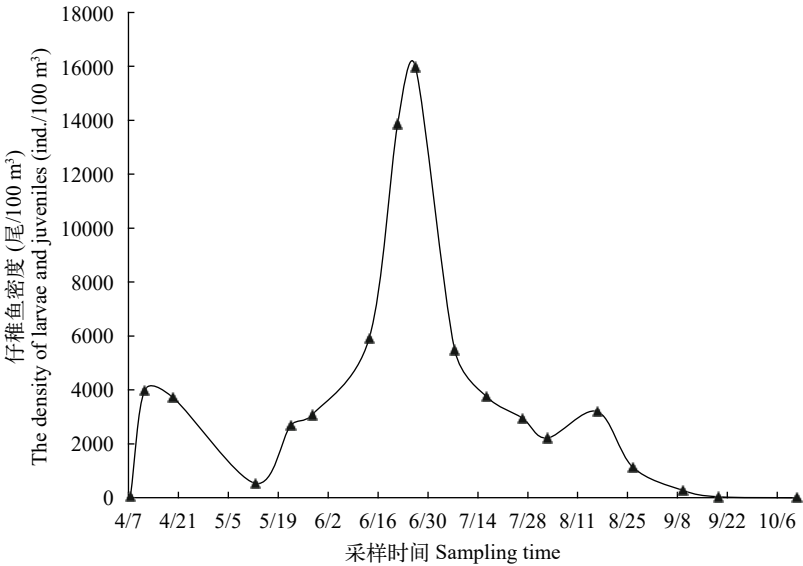


图 2 五里湖仔稚鱼资源密度的时间特征

Fig. 2 The temporal characteristics of the density of larvae and juveniles in Lake Wuli

100 m³, 间下鱊的密度高峰期5月下旬至8月上旬, 其密度峰值出现于7月7日, 为101尾/100 m³。短吻银鱼属繁殖期最晚, 密度高峰期主要集中于8—9月, 密度峰值出现在9月9日, 为45尾/100 m³ (图 5)。

空间特征 不同采样点仔稚鱼密度以13号采样点最高, 为7868 尾/100 m³, 以3号采样点最低, 为227尾/100 m³。敞水区的4个采样点密度均值为278 尾/100 m³, 占全湖仔稚鱼密度均值的7.28%, 显著($P<0.05$)低于沿岸带仔稚鱼密度。东西五里湖相较, 西五里湖仔稚鱼密度均值为4353尾/100 m³, 高于东五里湖(3373尾/100 m³)。

优势物种在各采样点的分布情况有所差异, 其中鲢属和子陵吻虾虎鱼在沿岸带各采样点间差异较小, 鲢属为全湖优势物种, 各样点的数量百分比均最高, 其密度最大值出现在13号采样点, 为5061尾/100 m³; 子陵吻虾虎鱼在各样点均有分布, 12号和13号采样点密度较高, 分别为945和823尾/100 m³。其余物种在各采样点间差异较大, 鲤和鲫主要分布于10号、12号和13号采样点, 三个样点的密度均值为二者全湖密度均值的3.7倍; 兴凯鲮主要分布于10—12号采样点, 其密度最大值出现在10号采样点, 为1004尾/100 m³; 红鳍原鲌主要分布于7号采样点, 为569尾/100 m³; 短吻银鱼属同其他物种不同, 其主要分布于敞水区, 其在敞水区的密度均值高出全湖密度均值的20.75%(图 5)。

2.4 仔稚鱼与环境因子的相关关系

针对仔稚鱼优势物种密度数据进行DCA分析, 结果显示第一轴梯度长度为4.116, 大于4选择CCA进行典范对应分析。分析的环境因子包括现

场测定的水体理化指标和同步采集的浮游植物和浮游动物密度数据。通过蒙特卡罗检验筛选出水温、溶解氧、浮游植物密度和浮游动物密度4个与仔稚鱼群落结构显著相关的环境因子($P<0.05$)。

CCA分析结果显示, 前两个轴的特征值分别为0.415和0.108, 两者占典范特征值总和分别为72.4%和19.3%, 共解释了仔稚鱼群落变异程度的93.5%(表 6)。在4个环境因子中, 浮游动物、溶解氧和水温对仔稚鱼群落结构的影响较大, 浮游植物较小, 水温(-0.58)、浮游植物(-0.20)和浮游动物(-0.70)与第一轴呈负相关, 溶解氧与第二轴呈负相关(-0.52)。典范对应分析的位图显示, 鲢属与子陵吻虾虎鱼、波氏吻虾虎鱼(*Rhinogobius cliffordpopei*)与间下鱊、鲤与鲫、兴凯鲮与麦穗鱼及中华鲮(*Rhodeus sinensis*)这四类彼此在样方的组成相近; 除了鲤、鲫和短吻银鱼属大多数的种类相对集中均在原点附近, 这一特征表明了环境因子对这些物种有相似的影响, 大部分物种均与水温、浮游动物密度和浮游植物密度呈正相关; 鲤和鲫主要与水温、浮游植物和浮游动物呈负相关, 同其他物种在第一轴分离; 短吻银鱼属主要与溶解氧呈负相关, 在第二轴上与其他物种分离开(图 6)。

3 讨论

3.1 五里湖仔稚鱼资源现状

五里湖在2002年前为养殖湖泊, 每年春季投放鱼类苗种, 冬季捕捞, 经2002年开始实施综合治理后, 五里湖由养殖湖泊逐步向天然湖泊转变, 鱼类群落结构也随之发生改变, “四大家鱼”的优势度开始下降, 小型肉食性鱼类逐渐增多^[13, 14]。

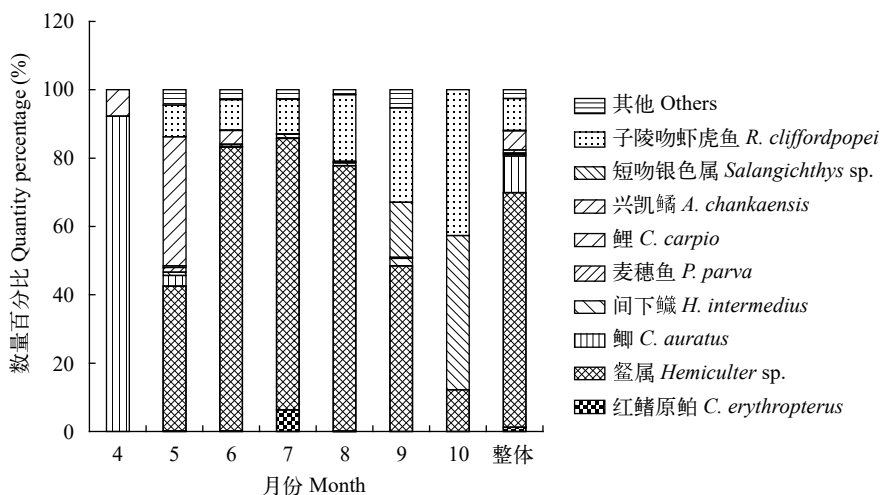


图 3 五里湖仔稚鱼密度百分比月变化

Fig. 3 The percentage variation in larvae and juveniles in Lake Wuli from April to August

本次调查采集到的仔稚鱼共20种(属), 其中鲤科鱼类占比最高, 与2007年五里湖渔业资源的调查结果相近^[14]。2003年底五里湖开始全湖禁渔^[15], 定居性鱼类的种群数量趋于上升。同时, 五里湖生态治理取得了较好成效, 水质改善, 沉水植被覆盖率显著提高^[16], 一方面可以为产黏性卵的鱼类提供产卵基质, 另一方面也为仔稚鱼提供了良好的索饵、庇护场所。生态环境持续改善, 加之有效的渔业管理, 五里湖鱼类资源得以恢复, 这在

湖区繁殖季节维持较高的鱼类种群补充量上有所体现。但从仔稚鱼群落结构分析, 优势度相对集中于少数小型野杂鱼类, 其中第一优势种属为鲢属, 其密度均值占比达68.76%, 其后兴凯鲮、鲫和子陵吻虾虎鱼密度占比依次为10.72%、5.60%和9.31%, 剩余物种则相对较低。在生境修复的过程中, 相比大规格鱼类而言, 小型鱼类生命周期短, 种群恢复快, 在人为扰动逐渐退出的背景下, 种群更易占据优势。

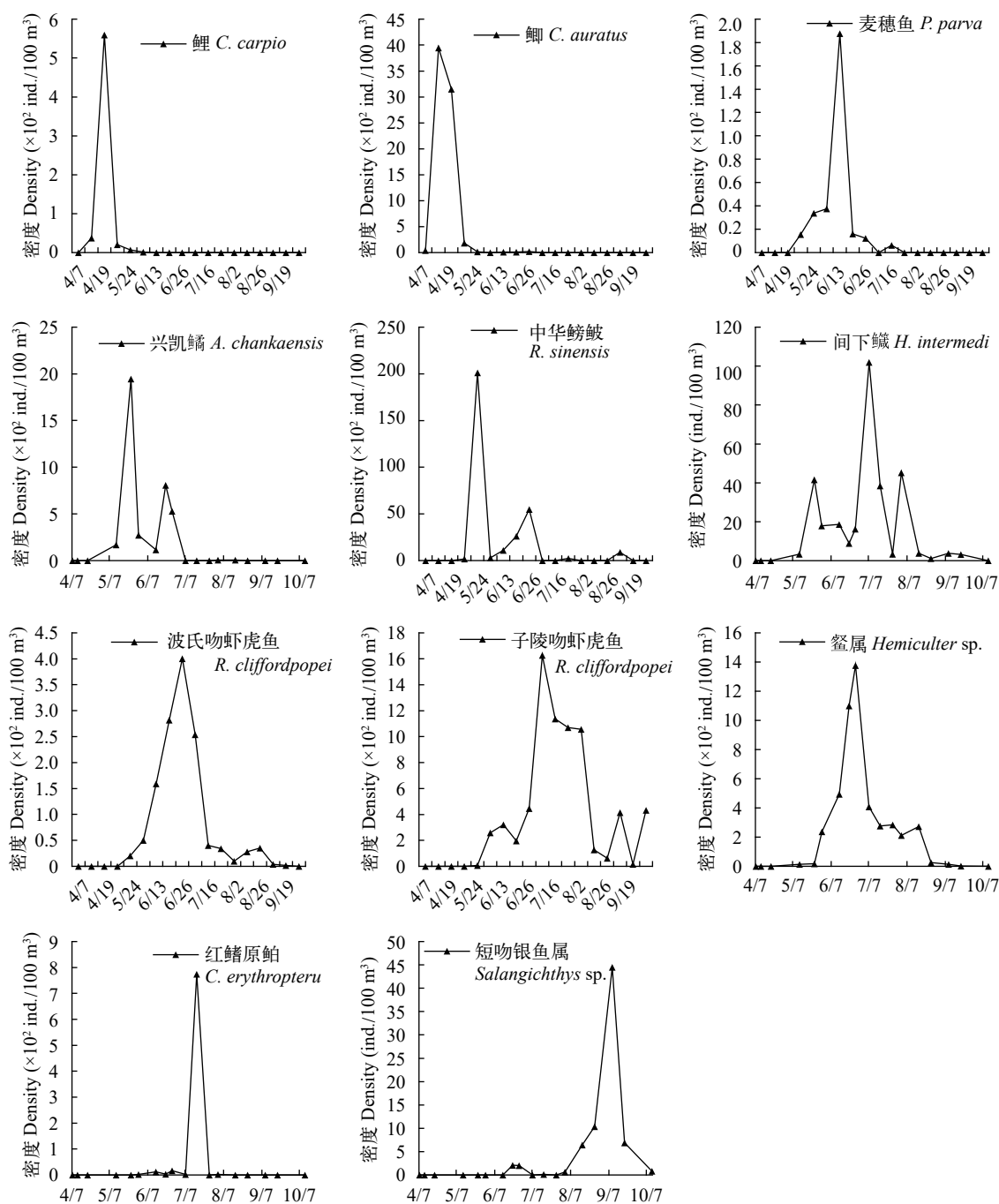


图4 主要优势种密度及时间特征

Fig. 4 Abundance of dominant species of larvae and juveniles in Lake Wuli

3.2 五里湖鱼类主要繁殖期

鱼类的繁殖活动是鱼体内源性因素及水体理化条件等外源性因素共同作用的结果^[17], 仔稚鱼资源密度的时间特征与成鱼的繁殖活动密切相关^[18]。同长江中下游的仔稚鱼密度高峰期相似^[10], 五里湖仔稚鱼密度在4—8月较高, 6月达到峰值。在湖泊中4—8月往往具有较适宜的水温和较为丰富的食物^[11], 鱼类在这一时段完成繁殖活动, 将使得后代有较高的成活率。本研究通过CCA分析结果也显示, 大部分物种均与水温及浮游生物密度呈正相关。本次调查中鲤、鲫繁殖期较早, 其产卵期为4—7月, 红鳍原鲃和鳊属为5—8月, 刀鲚为6—7月。鱼类胚胎发育及仔稚鱼阶段均需要一定时间, 且长短有所差异^[19–21], 因此仔稚鱼密度高峰期与其成鱼繁殖高峰期存在一定的时间差, 但仔稚鱼密度时间特征同鱼类的繁殖活动紧密相关, 可在一定程度上反应鱼类繁殖高峰期及保护期。在本研究中, 五里湖鲤、鲫密度高峰期为4月, 兴凯鲚为5—6月, 鳊属繁殖规模最大, 密度高峰期为6月中旬至8月初, 子陵吻虾虎鱼密度高峰期较长, 为5月底至9月初, 短吻银鱼属密度高峰期较晚为8—9月。此外, 从各优势种密度高峰期出现时间看, 各物种仔稚鱼密度高峰期均有所偏移, 一方面是由于各物种产卵时对水温等环境因子的需求不同, 另一方面也可能是对避免竞争并充分利用有限水体空间及饵料资源的一种进化选择^[22]。

3.3 五里湖鱼类主要繁殖区

五里湖仔稚鱼空间分布存在差异显著, 其中敞水区和仔稚鱼密度($607\text{尾}/100\text{ m}^3$)显著低于沿岸带($4358\text{尾}/100\text{ m}^3$)。湖泊不同于河流生境, 主要为静水环境, 其仔稚鱼的空间分布主要取决于成鱼对产卵生境的选择^[23], 其次也与仔稚鱼具备游泳能力后对适宜生境的自主选择有关^[24, 25]。湖泊沿岸带光照充分, 有机质和营养物质充足, 具有较高的生产力, 饵料生物相较于敞水区更为丰富^[26], 此外五里湖沿岸带具有丰富的水生植被, 为产黏性卵鱼类提供了优良的产卵基质, 同时也为仔稚鱼提供了多样化的索饵生境。本研究还发现仔稚鱼的空间特征总体一致, 这应与鱼类仔稚鱼阶段游泳能力较弱有关, 这为通过仔稚鱼调查辨析鱼类产卵场位置提供了可能。五里湖东、西湖周边环境及治理程度存在差异, 东五里湖周边人口密集且入河支流较多, 西五里湖周边多为湿地公园, 且经过疏浚及水生植被重建等生态治理措施, 现有的研究报道显示西五里湖水生植被覆盖率及水质状况均优于东五里湖^[27–29]。这与本研究结果相吻合, 主要表现为, 西五里湖仔稚鱼资源密度相比东五里湖高29.05%, 同时, 鲤、鲫等产黏性卵的鱼类仔稚鱼在西五里湖的分布密度显著高于东五里湖。

不同物种仔稚鱼空间特征反映了各物种繁殖需求的不同, 其中鲤、鲫倾向于水缓、沉水植被丰富的10、12和13号采样点; 红鳍原鲃喜好于有

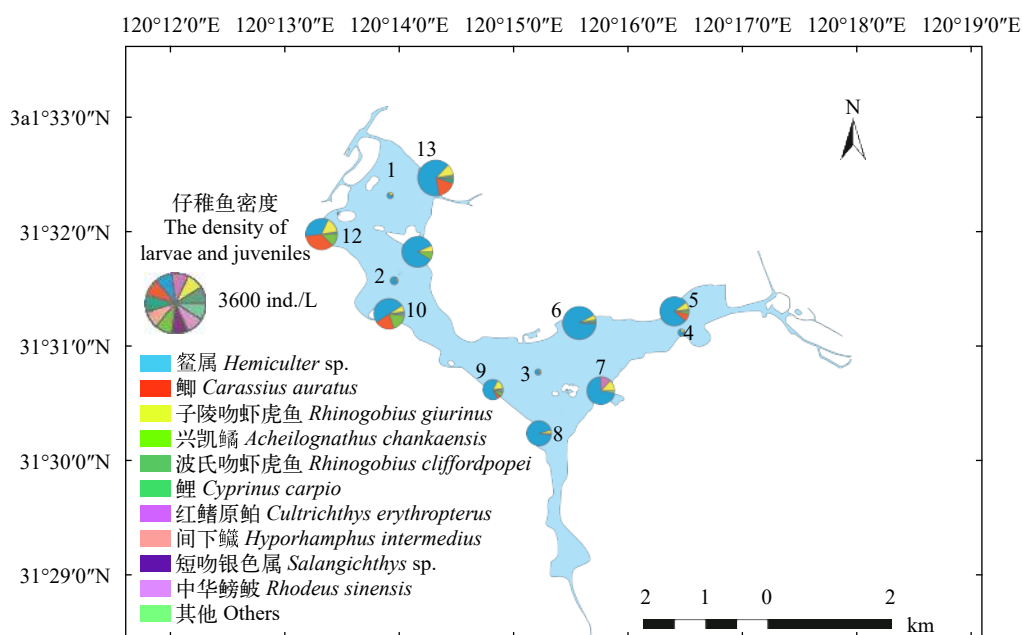


图5 五里湖仔稚鱼及优势物种密度的空间特征

Fig. 5 The spatial characteristics of the density of larvae and juveniles and the dominant species in Lake Wuli

表 6 五里湖仔稚鱼和环境因子之间的典范对应分析结果

Tab. 6 Results of the canonical correspondence analysis (CCA) based on larvae and juveniles in Lake Wuli

指标Index	轴Axes	
	1	2
特征值Eigenvalues	0.415	0.108
物种与环境的相关系数Specie- senviroment correlations	0.795	0.659
物种数据的累计解释率Cumulative percentage variance of species data	29.1	36.7
物种与环境关系的累计解释率 Cumulative percentage variance of species-enviroment relation	74.2	93.5
典范特征值总和(CCA分析对仔稚鱼 群聚的解释效率) Sum of all canonical eigenvalues	0.559	

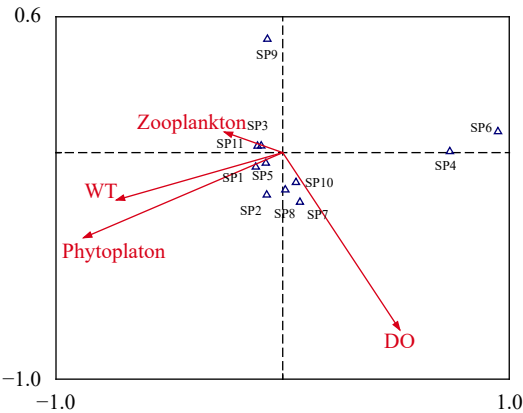


图 6 五里湖仔稚鱼和环境因子之间的典范对应分析结果

Fig. 6 Biplots of the first two axes of the canonical correspondence analysis (CCA) ordination of larvae and juveniles in Lake Wuli larva and juvenile scores of environmental variables and species

SP1. 波氏吻虾虎鱼*Rhinogobius cliffordpopei*; SP2. 红鳍原鲃*Cultrichthys erythropterus*; SP3. 鳊属*Hemiculter* sp.; SP4. 鲫*Carassius auratus*; SP5. 间下鱈*Hyporhamphus intermedius*; SP6. 鲤*Cyprinus carpio*; SP7. 麦穗鱼*Pseudorasbora parva*; SP8. 兴凯鳊*Acheilognathus chankaensis*; SP9. 短吻银鱼属*Salangichthys* sp.; SP10. 中华鲮*Rhodeus sinensis*; SP11. 子陵吻虾虎鱼 *Rhinogobius giurinus*

水生植被分布但水深相对较大的7号采样点，鳊属和子陵吻虾虎鱼则主要集中于沿岸浅水区，对产卵生境选择性较低；短吻银鱼属不同于其余物种，其在敞水区的密度显著高于沿岸带，这与短吻银鱼属成鱼的产卵习性相关，其产沉性卵，产卵场一般为较深且透明度较大的敞水区域^[7]。

本研究结果显示，五里湖鱼类主要繁殖期为4—8月，峰值出现于6月；产卵场和育幼场主要集中于沿岸带，西五里湖的育幼功能优于东五里湖。综上所述，应进一步维持对西五里湖的生境保护，同时，在东五里湖沿岸带逐步恢复植被，

并加强入湖支流水质监控，控制外源污染物，这对于促进五里湖生境优化及鱼类资源自然增殖具有积极意义。

参考文献:

[1] Li W Z. Biological and environmental succession in Wuli bay of Taihu Lake along with the eutrophication processes [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1996, (s1): 37-45. [李文朝. 五里湖富营养化过程中水生生物及生态环境的演变 [J]. 湖泊科学, 1996, (s1): 37-45.]

[2] Gu G, Lu G F. On the integrated of water environment of Wuli Lake, Lake Taihu [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2004, 16(1): 56-60. [顾岗, 陆根法. 太湖五里湖水环境综合整治的设想 [J]. 湖泊科学, 2004, 16(1): 56-60.]

[3] Li Y J, Nian Y G, Hu S R, et al. Succession of macrophyte communities and its driving factors in Wuli Lake of Taihu Lake [J]. *Water Resource Protection*, 2008, 24(3): 12-16. [李英杰, 年跃刚, 胡社荣, 等. 太湖五里湖水生植物群落演替及其驱动因素 [J]. 水资源保护, 2008, 24(3): 12-16.]

[4] Zhu X, Zhang Y W. Control of water pollution in Wuli Lake [J]. *Water Resource Protection*, 2009, 25(1): 86-89. [朱喜, 张扬文. 五里湖水污染治理现状及继续治理对策 [J]. 水资源保护, 2009, 25(1): 86-89.]

[5] Cai L L, Zhu G W, Wang Y P, et al. Influence of comprehensive treatment on water quality in Wuli bay of Taihu Lake [J]. *Journal of Hohai University (Natural Science)*, 2011, 39(5): 482-488. [蔡琳琳, 朱广伟, 王永平, 等. 五里湖综合整治对湖水水质的影响 [J]. 河海大学学报(自然科学版), 2011, 39(5): 482-488.]

[6] Yang H J. Basal study on the ecological restoration and reconstruction in Wulihu Lake [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2008: 21-38. [杨红军. 五里湖湖滨带生态恢复和重建的基础研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2008, 21-38.]

[7] Cao W X, Chang J B, Qiao H, et al. Fish Resources of Early Life History Stages in Yangtze River [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2007: 252. [曹文宣, 常剑波, 乔晔, 等. 长江鱼类早期资源 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 252.]

[8] Xie F, Zhang G S, Xu H M, et al. Evaluation of eutrophication in lakeside zone of Wuli Lake [J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, 31(1): 133-135. [谢锋, 张光生, 徐红梅, 等. 五里湖湖滨带富营养化评价 [J]. 环境科学与技术, 2008, 31(1): 133-135.]

[9] Wang S H, Wang W W, Jiang X, et al. Spatial-temporal dynamic changes of nitrogen and phosphorus and difference analysis in water body of Lihu Lake [J]. *China Environmental Science*, 2014, 34(5): 1268-1276. [王书航, 王雯雯, 姜霞, 等. 蠡湖水体氮、磷时空变化及差异性分析 [J]. 中国环境科学, 2014, 34(5): 1268-1276.]

[10] Ren P. Distribution and annual dynamics of early life his-

- tory resources of in the lower reach of the Yangtze River, China [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2015: 12-43. [任鹏. 长江下游鱼类早期资源的分布与周年动态研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2015, 12-43.]
- [11] Yang L J, Lü G H, Lan J Q, *et al.* Characteristics of zooplankton community in hengshan reservoir and water quality assessment [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, **38**(4): 720-728. [杨亮杰, 吕光汉, 竺俊全, 等. 横山水库浮游动物群落结构特征及水质评价 [J]. *水生生物学报*, 2014, **38**(4): 720-728.]
- [12] Braak, F C J. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis [J]. *Ecology*, 1986, **67**(5): 1167-1179.
- [13] Zhang H Y, Yuan Y M, He Y, *et al.* Composition of fishes and spatial analysis of biodiversity in Lihu Lake [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2010, **25**(1): 22-28. [张红燕, 袁永明, 贺艳辉, 等. 蠡湖鱼类群落结构及物种多样性的空间特征 [J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2010, **25**(1): 22-28.]
- [14] Duan J R, Zhang H Y, Liu K, *et al.* Community biodiversity of fishery resources in Lihu [J]. *Journal of Shanghai University*, 2009, **18**(2): 243-247. [段金荣, 张红燕, 刘凯, 等. 蠡湖渔业资源群落多样性的初步研究 [J]. 上海海洋大学学报, 2009, **18**(2): 243-247.]
- [15] Meng S L, Chen J Z, Hu G D, *et al.* Preliminary study on eco-restoration effect of releasing suspension-feeding animal on West Wuli Lake [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, **25**(16): 225-230. [孟顺龙, 陈家长, 胡庚东, 等. 滤食性动物放流对西五里湖的生态修复作用初探 [J]. 中国农学通报, 2009, **25**(16): 225-230.]
- [16] Xu X Z. The Research on wetland vegetation restoration and landscape reconstruction of Wuxi Lihu lakeside [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2013, 14-42. [徐新洲. 无锡蠡湖湖滨湿地植被修复与景观重建研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2013, 14-42.]
- [17] Yin M C. Fish Ecology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995. [殷名称. 鱼类生态学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.]
- [18] Nonaka R, Matsuura Y, Suzuki K. Seasonal variation in larval fish assemblages in relation to oceanographic conditions the Abrolhos Bank region off eastern Brazil [J]. *Fishery Bulletin*, 2000, **4**(98): 767-784.
- [19] Wang, Q Q, Wu J M, Zhang F T, *et al.* Early development and starvation tolerance of the larva of *Squalidus argentatus* in Chishui River [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2010, **45**(3): 11-20. [王芊芊, 吴金明, 张富铁, 等. 赤水河银(鮰)的早期发育与仔稚鱼的耐饥饿能力 [J]. 动物学杂志, 2010, **45**(3): 11-20.]
- [20] Tian H X. Morphological studies of allometric growth, different geographical populations and bone morphology of Qihe *Carassius auratus* [D]. Xinxiang: Henan Normal University, 2017: 13-41. [田华香. 淇河鲫早期生长和骨骼形态学研究 [D]. 新乡: 河南师范大学, 2017: 13-41.]
- [21] Zhang G, Wu L, Duan M, *et al.* Hatch dates and early growth for juveniles of the four major carps from different sections of the middle Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, **37**(2): 306-313. [张国, 吴朗, 段明, 等. 长江中游不同江段四大家鱼幼鱼孵化日期和早期生长的比较研究 [J]. *水生生物学报*, 2013, **37**(2): 306-313.]
- [22] Palomera I. Spawning of anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Northwestern Mediterranean relative to hydrographic features in the region [J]. *Marine Ecology Progress*, 1991, **79**(3): 215-223.
- [23] Jiang R J. The community structure of fish larvae and juveniles in the surf zone of the Yangtze River estuary [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2008: 17-32. [蒋日进. 长江口沿岸碎波带仔稚鱼类群落结构特征的研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2008: 17-32.]
- [24] Whitfield A K. Ichthyofaunal assemblages in estuaries: A South African case study [J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 1999, **9**(2): 151-186.
- [25] Fortier L, Leggett W C. Small-scale covariability in the abundance of fish larvae and their Pr [J]. *Journal Canadien Des Sciences Halieutiques et Aquatiques*, 1984, **41**(3): 502-512.
- [26] Li C H, Ye C, Zhao X F, *et al.* The ecosystem health assessment of the littoral zone of Lake Taihu [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, **31**(12): 3806-3815. [李春华, 叶春, 赵晓峰, 等. 太湖湖滨带生态系统健康评价 [J]. 生态学报, 2012, **31**(12): 3806-3815.]
- [27] Zhang B, Li Y F, Jiang X, *et al.* Influences of environmental governance project on spatial distribution of phosphorus in Lihu Lake [J]. *China Environmental Science*, 2013, **33**(7): 1271-1279. [张博, 李永峰, 姜霞, 等. 环境治理工程对蠡湖水体中磷空间分布的影响 [J]. 中国环境科学, 2013, **33**(7): 1271-1279.]
- [28] Hu J C, Jiang X, Li Y F, *et al.* Influences of environmental governance project on spatial distribution of nitrogen in Lihu Lake [J]. *China Environmental Science*, 2013, **26**(4): 380-388. [胡佳晨, 姜霞, 李永峰, 等. 环境治理工程对蠡湖水体中氮空间分布的影响 [J]. 环境科学研究, 2013, **26**(4): 380-388.]
- [29] Chen J Z, Meng S L, You Y, *et al.* Characteristic of phytoplankton community in Lake Wuli, Lake Taihu, Lake Taihu [J]. *Ecology and Environmental Science*, 2009, **18**(4): 1358-1367. [陈家长, 孟顺龙, 尤洋, 等. 太湖五里湖浮游植物群落结构特征分析 [J]. 生态环境学报, 2009, **18**(4): 1358-1367.]

SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTIONS OF FISH LARVAE AND JUVENILES IN LAKE WULI, LAKE TAIHU

DAI Pei¹, ZHOU You², REN Peng¹, WANG Yin-Ping¹, XU Pao¹ and LIU Kai¹

(1. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of the Changjiang River, Ministry of Agriculture Rural Areas, Freshwater Fisheries Research Center, CAFS, Wuxi 214081, China;

2. School of Food Science and Jiangnan Technology University, Wuxi 214122, China)

Abstract: To explore the scale and distribution characteristics of fish larvae and juveniles, a systematic investigation was conducted in Lake Wuli from April to October 2016. A total of 70678 larvae and juveniles were collected, and 20 species of larvae and juveniles from 18 genera, 8 families, and 7 orders were recorded. The density of annual average larvae and juveniles in Lake Wuli was 3825 ind./100 m³, and *Hemiculter* sp. was dominant throughout the year. Based on the temporal density variation, the spawning period in Lake Wuli lasted from April to August, and the peak spawning month was June. The dominant species changed monthly: the earliest were *Cyprinus carpio* and *Carassius auratus* (April), and the latest was *Salangichthys* sp. (August to September). Significant spatial differences in the distribution of larvae and juveniles were observed in Lake Wuli. The density of larvae and juveniles in the coastal zone was significantly higher than that in the pelagic zone, with densities of 5650 ind./100 m³ and 310 ind./100 m³, respectively. The density in eastern Wuli Lake was lower than that in the west, with densities of 3600 ind./100 m³ and 4482 ind./100 m³, respectively. Canonical correspondence analysis indicated that water temperature (WT), dissolved oxygen (DO), and phytoplankton and zooplankton abundances were strongly correlated with the distribution characteristics of larvae and juveniles. The study showed that in Lake Wuli, the main breeding period of fish is from April to August, and the main spawning and parenting waters are coastal belts. Additionally, the results determined that the breeding function of western Wuli Lake is better than that of eastern Lake Wuli. Therefore, further maintaining the habitat protection of western Lake Wuli, enhancing the vegetation restoration in the coastal area of eastern Wuli Lake, and improving water quality monitoring of the tributaries in the lake, and controlling the external pollutants are of great importance for habitat optimization and natural proliferation of fish resources in Wuli Lake.

Key words: Lake Wuli; The fish larvae and juveniles; Spatial-temporal distributions; Breeding season; Breeding area

书讯

由林浩然院士和张勇、卢丹琪、李水生完成的译著《鱼类应激生物学》(ISBN 978-7-306-06706-7)已于近日由中山大学出版社出版发行。

本书为美国科学出版社2016年出版的“鱼类生理学”系列专著中的第35卷《鱼类应激生物学》(Biology of Stress in Fish)。它全面收集和总结了近三十多年来在鱼类应激生物学方面发表的科学著作和研究成果,内容包括:一、对应激的综合性论述——应激的概念,应激反应的生理特性,影响应激反应的因素;二、引起应激反应变动的生物性因素和非生物性因素;三、应激反应怎样产生以及如何调节;四、应激对鱼类生理的和鱼体功能与行为表现的影响;五、鱼类应激的评估、应激管理和动物福利以及鱼类作为模式生物的应激等共13章。

本书内容充实、系统全面,概念新颖,论述清晰,是一部学术水平很高的专著。

本书可供鱼类学、鱼类生理学、鱼类养殖生物学、鱼类内分泌学、鱼病学(鱼类病害学)、鱼类免疫学、鱼类分子生物学、鱼类遗传育种学等相关学科与研究领域的科学技术工作者和高等院校有关专业的师生学习参考;亦是专业的水产养殖工作者、观赏鱼类爱好者和关心动物健康和福利的人们一本有用的参考书。

对本书感兴趣的读者和师生们可以直接和中山大学出版社联系订购(地址:广州市海珠区新港西路135号,邮编510275,电话020-84111998,传真020-84036565)或者京东网上购买。