

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.01141

2010 年春季长江口鱼类群落空间分布特征

史赞荣^{1,2}, 晁敏¹, 全为民¹, 唐峰华¹, 沈新强¹, 袁骥¹, 黄厚见^{1,2}

1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 上海 200090;

2. 上海海洋大学, 上海 201306

摘要: 为探索长江河口生境条件改变对重要生物的影响状况, 揭示生境条件对生物资源影响的机理, 根据 2010 年 5–6 月在长江口进行的渔业资源与生态环境调查数据与历史资料, 用根据扫海面积计算的栖息密度研究了鱼类群落结构的变动状况, 以及 5–6 月鱼类群落结构及其与环境因子的关系。结果显示, 2010 年 5–6 月共记录鱼类 40 种。种类数目较多的科分别是鳊科和虾虎鱼科(均为 5 种), 其次为石首鱼科(4 种)及舌鳎科(3 种); 鱼类栖息密度以当年卵化幼鱼为主, 矛尾虾虎鱼、棘头梅童鱼、凤鲚和刀鲚为栖息密度最大的 4 种鱼类, 占调查区域鱼类栖息密度的 94.11%。聚类分析和非度量多维测度分析发现, 春季鱼类有明显的空间分布差异, 除趋势典范对应分析的 9 个环境因子中, 水深、表层盐度和底层盐度对河口内部鱼类丰度和栖息密度影响最大, 而底层 pH 值、表层盐度和底层温度则对河口外部鱼类群落影响最大。与历史资料相比, 目前记录的鱼类物种数目(40 种)少于 1985 年 5 月或 6 月(69 种, 62 种), 而栖息密度($5.20 \times 10^4 \text{ ind/km}^2$)高于 1985 年 5 月或 6 月($1.72 \times 10^4 \text{ ind/km}^2$, $2.29 \times 10^4 \text{ ind/km}^2$)。本研究表明虽然长江口仍为棘头梅童鱼、刀鲚、凤鲚等重要经济鱼类的产卵场和肥育场, 但是鱼类群落结构已经发生了较大的变化。

关键词: 长江口; 鱼类群落结构; 栖息密度; 环境因子; 多元分析

中图分类号: S93

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)05-1141-11

河口地区初级生产力高、渔业资源丰富^[1], 同时温度、盐度等环境因素梯度变化大^[2]。河口生态系统位于淡水和海洋环境的交界处, 有着重要的生态意义^[3]。

长江口是中国也是西太平洋地区最大的河口, 在这里生活着种类繁多的水生生物, 是中国著名的渔场之一^[4]。近年来, 对河口区鱼类群落生态系统的研究, 已成为河口生态系统研究的重要组成部分^[5-6]。目前, 已有学者对鱼类群落结构、种类多样性与环境因子之间的关系展开了研究^[7-9]; 还有关于群落区系特征^[10-11]的研究; 此外还有关于鱼类群落结构及其季节动态的报道^[10,12-14]。随着长江干流三峡工程的成功蓄水, 与蓄水前相比,

长江口一些环境因子的时空分布格局也会发生一定的变化^[15], 此外还有南水北调、引江济太等重大水利工程的实施。由于鱼类的分布与其栖息的生态环境密切相关, 因而有必要了解长江口鱼类时空、数量分布的改变。尽管已有研究初步分析了长江口鱼类群落对三峡工程的响应^[9], 但水利工程对河口鱼类资源的影响是潜在的和缓慢的^[16], 有必要对其进行长期的跟踪调查。本研究通过对 2010 年春季长江口鱼类资源的调查数据和历史资料, 了解鱼类群落的现状, 并结合环境因子的分布与长江口鱼类群落研究的历史资料, 探讨鱼类群落结构与环境因素的关系及鱼类群落变动状况, 从而为合理评估重大水利工程对长江口鱼类资源

收稿日期: 2010-12-05; 修订日期: 2011-04-02.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2010CB429005); 上海海洋大学研究生科研基金(A-2501-10-011405).

作者简介: 史赞荣(1981–), 男, 博士研究生, 主要从事渔业资源学和生态学研究. E-mail: jiapushi@163.com

通信作者: 沈新强, 研究员, 主要从事渔业生态与环境研究. E-mail: esrms@sh163.net

的影响提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

调查区域位于长江口浏河以东 20 m 水深处, 调查区域和具体如图 1 所示。其中 1-16 号站位, 调查时间为 2010 年 6 月 11 日至 6 月 22 日, 17-30 号站调查时间为 2010 年 5 月 20 日至 6 月 6 日。为叙述方便, 本文所指的口内区域是指 1-16 号站位所在区域(I), 而口外区域是指 17-30 号站位所在区域(II)。

1.2 材料来源

网具为单拖网(上纲 23 m, 下纲 27 m, 经测算, 实际作业时有效宽度为 15 m 左右, 网高为 3.5~4 m, 网囊网目为 1 cm), 船速为 2.5~3.0 节之间, 一般每站拖网作业时间为 0.5 h。由于长江口张网作业十分普遍, 同时通航船只也较多, 因而为保证拖网作业的安全, 在遇到这些障碍物时会提前起网, 到站后测量水深, 底、表溶解氧, 盐度, 温度, pH 值等 9 个环境参数, 同时将鱼类鉴定到种, 并进行生物学测定。

1.3 研究方法

由于调查中各站位的拖速差异导致实际扫海面积并不完全一致, 为将扫海面积的差异无量纲化, 故在计算时, 用各站位的栖息密度(ind/km²)来代替其鱼类个体数。

栖息密度的计算公式为 $p=C/(L \times D \times q)$ ^[17] (1)

式中, C 为渔获尾数, L 为拖网有效宽度, D 为拖网距离, q 为逃逸率(本研究逃逸率取 0.5)。

相似性系数(B)计算根据 Bray-Curtis 计算公式:

$$B = 100 \times \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^S |x_{ij} - x_{im}|}{\sum_{i=1}^S |x_{ij} + x_{im}|} \right]^{[14]} \quad (2)$$

式中, x_{ij} 和 x_{im} 分别为第 i 个种类在第 j 个站位和第 m 个站位单位扫海面积的栖息密度, S 为鱼类物种数目。为减弱站位间鱼类栖息密度的大小悬殊, 首先对各站位鱼类群落的栖息密度进行四次方根转化^[18-19], 接着分别用聚类分析和非度量多维测度(nMDS)^[18-19]进行分析, 当nMDS计算

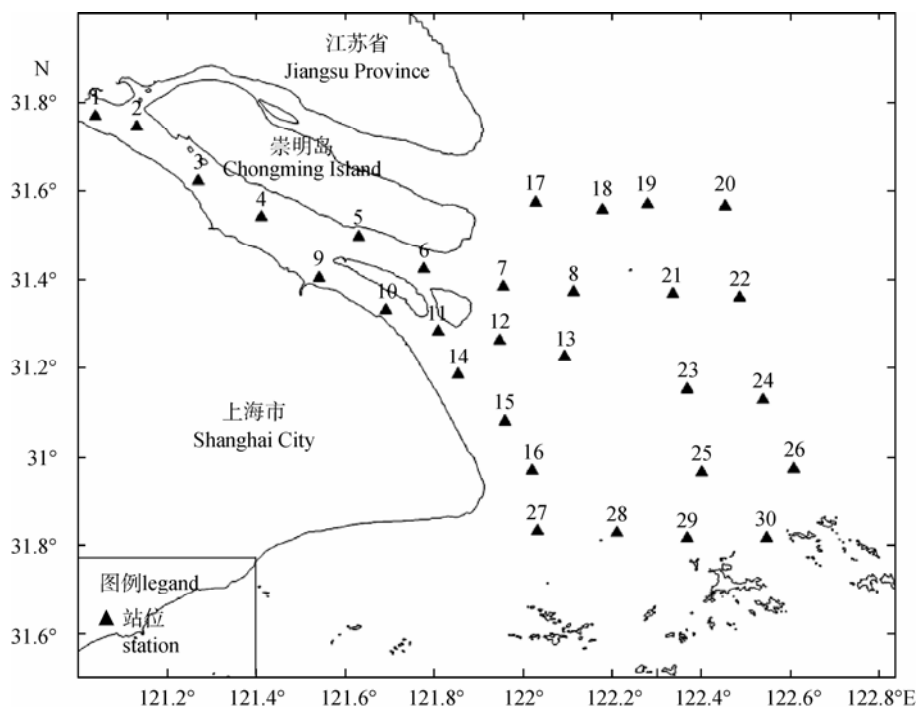


图 1 长江口拖网站位分布图

Fig.1 Map of the Yangtze River estuary with location of bottom trawl sampling stations

的胁迫系数 $\text{stress}<0.05$ 时, 吻合极好; 当 $0.05<\text{stress}<0.1$ 时, 吻合较好; 当 $0.1<\text{stress}<0.2$ 时, 吻合一般; 而当 $\text{stress}>0.2$ 时, 吻合较差^[20]。聚类分析采用组平均距离方法, 式(2)中所有的计算及 nMDS和聚类分析均采用国际通用软件Primer5.2。

用除趋势对应分析方法(Detrended Correspondence, DCA)分别对口内(1–16 号站)和口外区域(17–30 号站)站位鱼类群落进行排序, 用除趋势典范对应分析方法(Detrended Canonical Correspondence, DCCA)^[21]分别分析口外和口内各站位鱼类栖息密度与环境因子之间的关系, 计算用国际通用软件CANOCO4.5 处理。鱼类分类系统采用目前国际上通用的Nelson分类系统^[22], 鱼类生态类群划分主要依据庄平等^[4]的研究, 而个别没有记录的种类、生态类群以FishBase为准^[23]。

2 结果与分析

2.1 调查区环境因子特征

调查期间, 口内区域和口外区域环境因子的分布有较大的差距(表 1)。如盐度, 大多数口内站位水体盐度已经属于淡水水体(<0.5), 而口外盐度明显要高于口内区域。而水温的分布则呈现相反趋势, 大致是口内高于口外, 此外, 水深、溶氧和 pH 值的分布基本是口外大于口内的趋势。经 t 检验, 口内和口外所测的 9 个环境因子中只有水温和底溶氧平均值有统计学差异(表 2)。

2.2 种类组成

本次调查总共记录 40 种鱼类, 隶属于 12 目 23 科。鲹科(Engraulidae)和虾虎鱼科(Gobiidae)的种类最多(5 种); 其次是石首鱼科(Sciaenidae), 有 4 种; 舌鳎科(Cynoglossidae)的种类数目也较多, 有 3 种; 鲿科(Bagridae)、鲤科(Cyprinidae)和鲴科(Tetraodontidae)均记录了 2 种, 其他 16 科每科只记录 1 种鱼类(图 2a)。

按照鱼类的生态类群划分, 本次调查获得记录最多的是海洋鱼类, 其次是河口定居性鱼类, 而淡水鱼类也有一定的种类数目, 且都集中分布在口内区域(图 2b)。口内和口外记录的鱼类物种差异较大, 在口内以河口定居性鱼类种类最多, 而在口外则是海洋鱼类的种类最多; 此外鲤科、鲿科等淡水鱼类只出现在口内区域, 口内区域的海洋鱼类种类数目只记录了鲢(*Miichthys miiuy*)、棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)和中华海鲇(*Arius sinensis*)3 种。

2.3 鱼类栖息密度

调查区域鱼类总的栖息密度为 5.20×10^4 ind/km²(当年生幼鱼的比例占了 98.5%), 比例最高的生态类群是河口定居性鱼类, 其次为海洋鱼类, 接着为洄游鱼类, 淡水鱼类的比例最低(图 3)。其中口外区域栖息密度为 1.05×10^5 ind/km², 口内区域栖息密度只有 3.89×10^3 ind/km², 口外为口内的 27 倍左右。同时口内区域和口外区域在生

表 1 长江河口环境因子极值及中位值
Tab.1 Maximum, minimum and median values of environmental variables of the Yangtze River estuary

口区 zone	水深/ m depth	表温/℃ surface temperature	表 pH surface pH	表溶氧 (mg·L ⁻¹) surface DO	表盐 surface salinity	底温/℃ bottom temperature	底 pH bottom pH	底溶氧 (mg·L ⁻¹) bottom DO	底盐 bottom salinity
口内 inner	3.5–16 5.5	23.2–25.2 24.2	8.01–8.34 8.19	5.7–8.1 7.31	0.13–0.94 0.15	23.1–25.2 24.1	7.97–8.29 8.19	5.89–7.93 7.61	0.13–0.86 0.15
口外 outer	4.5–22 13	17.3–21.2 20.1	8.18–8.55 8.44	8.78–10.09 9.05	3.32–32.02 16.54	17.9–21.2 19.16	8.26–8.49 8.41	7.77–9.43 8.45	19.5–32.4 25.9

表 2 口内与口外环境因子平均值比较的 t 检验
Tab.2 t -tests of average environmental variable values occurred in the inner zone compared that in the outer zone

参数 parameter	水深/ m depth	表温/℃ surface tem- perature	表 pH surface pH	表溶氧/(mg·L ⁻¹) surface DO	表盐 surface salinity	底温/℃ bottom tem- perature	底 pH bottom pH	底溶氧/(mg·L ⁻¹) bottom DO	底盐 bottom salinity
$F_{(14,16)}$	2.067	2.728	1.711	3.479	877.653	1.108	2.013	2.553	122.139
P	0.179	0.066	0.318	0.029*	0.000**	0.862	0.213	0.097	0.000**

注: * 表示口内与口外差异显著($P<0.05$); ** 表示口内与口外差异极显著($P<0.01$).
Note: *donates significant difference between inner zone and outhter zone ($P<0.5$), and **donates extremely significant difference ($P<0.01$).

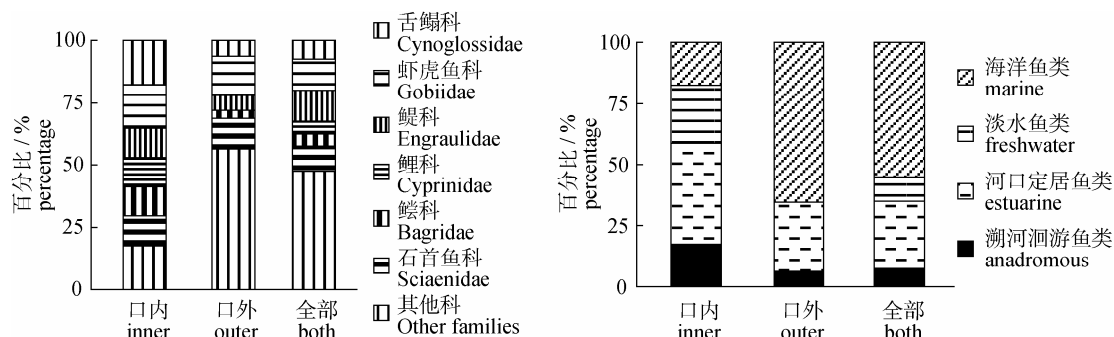


图 2 口内、口外各科种类数目(a)和生态类群(b)的比例

Fig.2 Percentages of fish species numbers of each families and ecological groups in inner (a) and outer (b) zone

态类群的组成比例上差异显著($H_c=41.16$, $P<0.01$), 按照比例大小, 口内依次为洄游鱼类、淡水鱼类、河口定居性鱼类和海洋鱼类; 而口外区域则为河口定居性鱼类、海洋鱼类、及洄游鱼类(图 3)。

由图 4 可见, 各站位间栖息密度相差较大。口外区域鱼类栖息密度总体上明显高于口内区域的栖息密度, 其中栖息密度最高的是 30 号站, 19 号站栖息密度次之; 而口内最高的 16 号站点密度为 1.56×10^4 ind/km², 栖息密度最低的是 4 号站, 鱼类栖息密度仅为 1.75×10^2 ind/km², 5 号站和 3 号站的鱼类栖息密度也较低, 分别为 1.92×10^2 ind/km²和 4.98×10^2 ind/km², 另外 10 号站的栖息密度也低于 1.0×10^3 ind/km²。口内和口外站位的平均栖息密度差异显著($F=11.35$, $P<0.05$)。

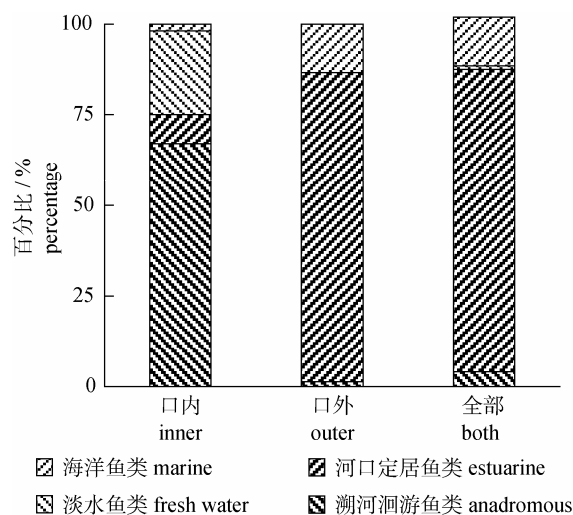


图 3 口内、口外以及合计各生态类群栖息密度的比例

Fig.3 Percentages of fish guild density in inner, outer zone and the both

各鱼类物种的栖息密度也有很大的差异, 其中矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)的栖息密度最高, 为 4.12×10^4 ind/km², 占整个群落栖息密度的 78.95%; 其次为棘头梅童鱼; 凤鲚(*Coilia mystus*)和刀鲚(*Coilia nasus*)的栖息密度占整个群落栖息密度的比例也均高于 1%。口内与口外鱼类不同物种栖息密度也有较大差异, 在口内, 比例最高的 3 种鱼类依次为凤鲚、刀鲚和光泽黄颡鱼(*Pseudobagrus nitidus*), 占了口内全部鱼类栖息密度的 85.92%; 而口外则依次为矛尾虾虎鱼、棘头梅童鱼和凤鲚, 他们占口外栖息密度的 95.04%。

对本次调查出现的 4 种主要经济鱼类的体长分布进行分析, 发现这几种鱼类数量均以幼鱼占绝对优势(图 5), 说明长江口仍是这些鱼类主要的育幼场和索饵场。

2.4 鱼类群落结构的相似性

用 nMDS 计算的胁迫系数为 0.08, 因而能较好地反映调查期间各站位种类多度的空间分布关系。由图 6 可知, 春季鱼类群落 Bray-Curtis 相似性指数并不高, 只在相似性系数为 0.2 的水平下大致分为口内(I)和口外(II)两组, 这说明春季长江口鱼类群落结构在空间上有明显的差异(图 6)。

2.5 鱼类群落的排序

DCA 排序显示, 口内区域, 第一轴解释了群落组成信息的 26.3%, 第二轴解释了 21.5%; 口外区域, 第一轴(横轴)解释了群落组成信息的 41.7%, 第二轴解释了 8.9%(表 3)。DCCA 排序显示, 在口

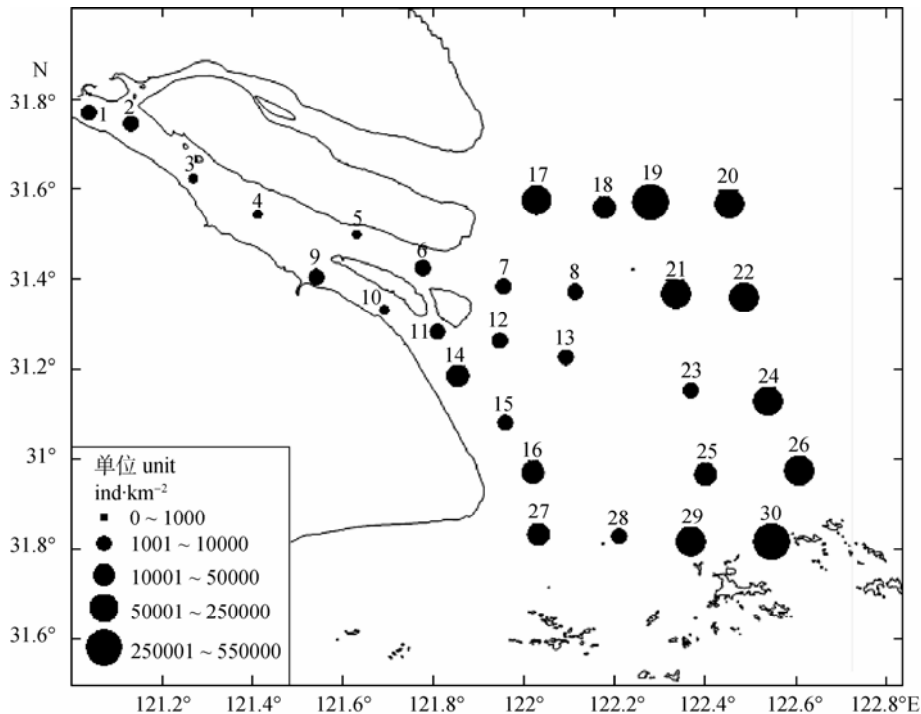


图 4 各站位鱼类栖息密度
Fig.4 Fish density in each station

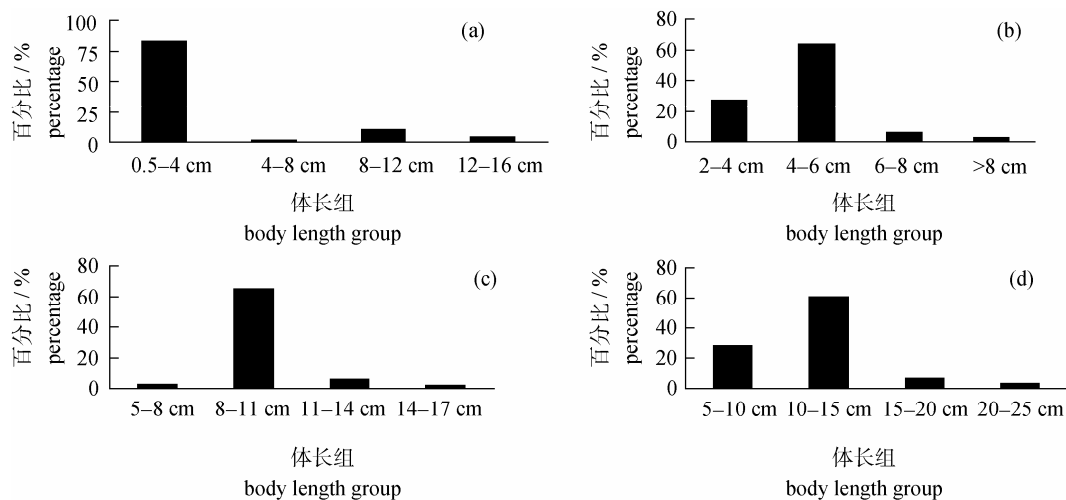


图 5 4 种重要经济鱼类体长分布图
a . 棘头梅童鱼; b. 鲢; c. 凤鲚; d. 刀鲚.
Fig.5 Distribution of body length of four commercial fish species
a. *Collichthys lucidus*; b. *Miichthys miiuy*; c. *Coilia mystus*; d. *Coilia nasus*.

内区域, 经 Monte Carlo 检验后, 所有环境因素均进入排序, 其中水深、盐度是对鱼类群落影响程度最大的 3 个环境因素, 第一轴(横轴)解释了观测环境变量的 24.7%, 而底盐和表盐是其最大的载荷因素; 第二轴解释了观测环境变量的 14.5%, 水深是最大的载荷因素。经 Monte Carlo 筛选, 口

外所有环境因素均进入排序, 其中底层 pH、表盐和底温是对鱼类群落影响程度最大的 3 个环境因素, 第一轴解释了观测环境变量的 37.7%, 对于第一轴, 表 pH 值是最大的载荷因素; 第二轴解释了观测环境变量的 1.9%, 表层盐度是第二轴最大的载荷因素(图 8b)。表 3 给出了口内和口外区

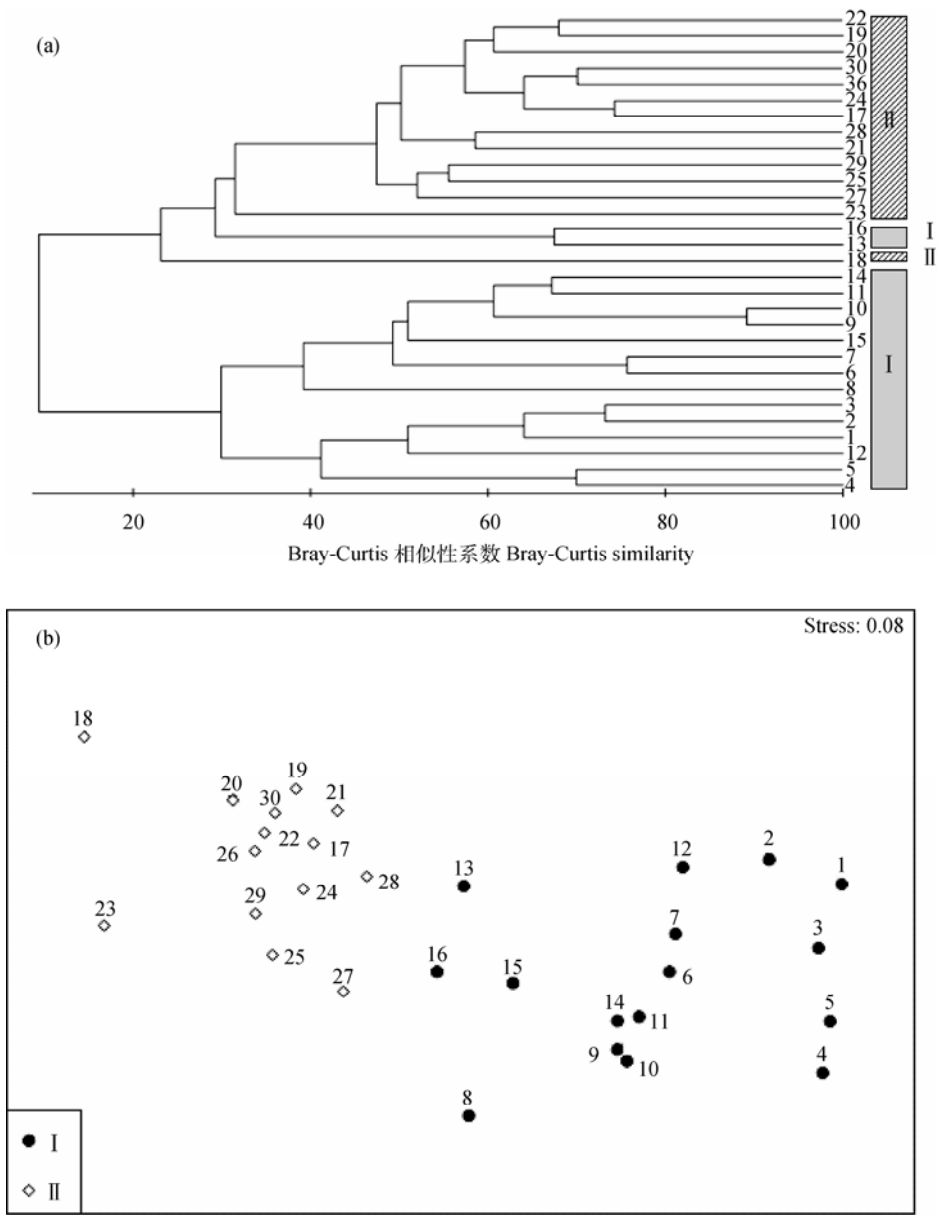


图 6 各站位 Bray-Curtis 相似性系数的聚类分析(a)和 nMDS 排序图(b)
排序图右上角为排序图胁迫数值。表示口内区域, 表示口外区域。

Fig.6 Cluster analysis (a) and nMDS ordination plot (b) of the fish community between sampling stations according to the Bray-Curtis similarity

The stress value is given in the top hand corner of the ordination plot. donates inner zone, and donates outer zone.

域两种方法排序轴的特征值, 图 7 和图 8 给出了口内和口外群落的排序结果, 由此可见 DCA 的结果略好于 DCCA 的分析结果。

3 讨论

3.1 鱼类种类组成

Potter等^[24]发现北半球温带河口区鱼类群落种类数目以海洋鱼类为主, 本次调查中位于北半

球亚热带地区的长江口区海洋鱼类种类比例(55%)基本呈现这种分布格局。Macid等^[25]认为盐度是影响物种数目分布的最主要因素。本次调查, 由于口内和口外较大的环境差异, 其种类组成也表现出了较大的空间差异性。如口内口外区域鱼类生态类群组成的差异, 由于口外相对较高的盐度使得淡水鱼类全部位于口内区域, 而口内区域由于盐度很低, 因而能够进入的海洋鱼类仅为棘头

表 3 DCA、DCCA 排序前 4 轴特征值及所有排序轴特征值和
Tab.3 Eigen values for the first four axes and the sum of all axes of DCA and DCCA in inner and outer zones

排序方法 ordination method	区域 zone	特征值 Eigen value				特征值和 sum of all Eigen values
		第 1 轴 AX1	第 2 轴 AX2	第 3 轴 AX3	第 4 轴 AX4	
DCA	口内 inner	0.854	0.698	0.084	0.076	3.250
	口外 outer	0.395	0.091	0.037	0.008	1.024
DCCA	口内 inner	0.804	0.470	0.123	0.069	3.250
	口外 outer	0.386	0.019	0.009	0.005	1.024

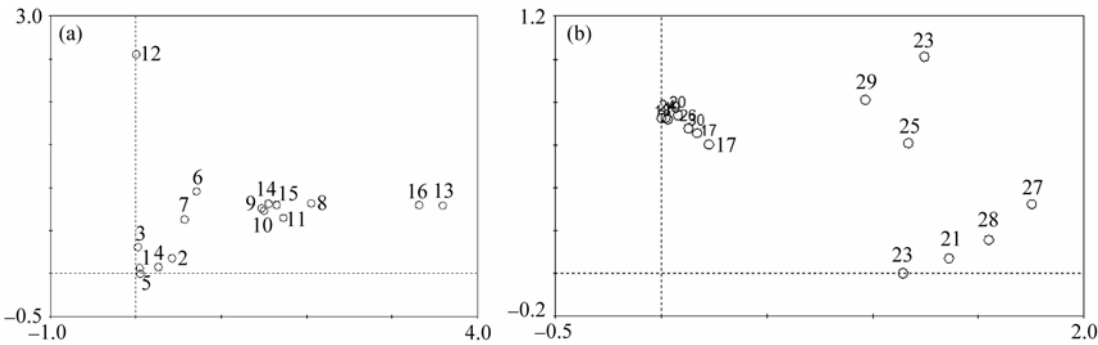


图 7 口内(a)与口外(b)站位的鱼类栖息密度除趋势对应(DCA)矢量排序图
Fig.7 DCA ordination diagram based on fish density in the sampling stations in inner (a) and outer (b) zones

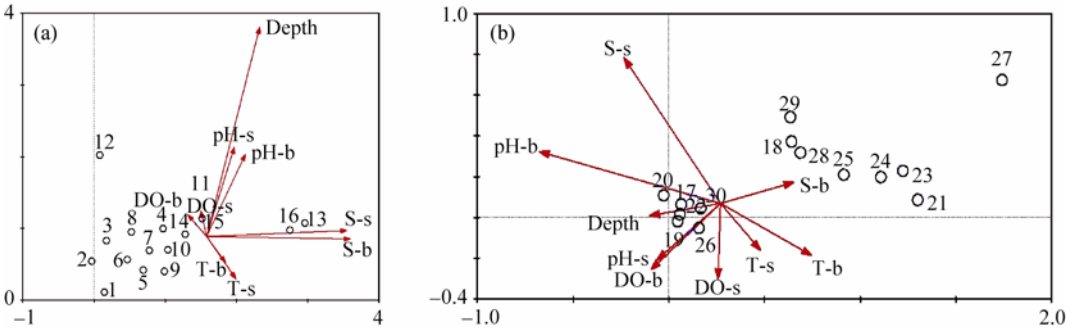


图 8 口内(a)与口外(b)站位的鱼类栖息密度除趋势典范对应(DCCA)矢量排序图
Fig.8 DCCA ordination diagram based on fish density in the sampling stations in inner (a) and outer zone (b) with abiotic variables represented by vectors

梅童鱼、中华海鲇和鲢3种广盐性鱼类^[10, 23]; 另外是记录鱼类物种数目的差异, 口内16个站位总共记录了17种, 而口外14个站位却记录了32种, 口内区域平均每站出现的鱼类种类数目显著小于口外水域 ($P<0.05$)。Martino等^[26]发现在一个温带河口海洋水体环境中鱼类种类数目最多, 其次为湾内, 最小为淡水区。

对于海洋经济鱼类如棘头梅童鱼和鲢, 通过体长组的比例可发现本次调查幼鱼有大量出现 (图 5a、5b), 另外还发现调查中出现的多数棘头梅童鱼成鱼和皮氏叫姑鱼成鱼已经有成熟卵粒出

现(现场观测), 这些都证明了长江口仍然是这些海洋经济鱼类重要的产卵场和育肥场。而对于凤鲚、刀鲚等洄游性经济鱼类, 幼鱼和成鱼也均有大量出现(图 5c、5d), 因此判断长江口仍然是这些重要洄游鱼类的肥育场。

一些学者认为真正在河口完成全部生活史的鱼类物种较少^[6, 27], 如Canche河口记录的28种鱼类只有4种河口定居性鱼类^[28]。而长江口的情况却例外, 本次调查河口定居种就有11种, 此外长江口棘头梅童鱼栖息尽管在生态类群上属于海洋鱼类, 但实际上他们的生活史也很可能完全依赖

于长江口生境,因为在本次调查中发现了棘头梅童鱼从幼鱼到产卵成鱼的各个阶段的个体。不过,目前尚未见报道证明长江口的棘头梅童鱼为同一种群,具有相同的洄游模式。此外庄平等^[4]研究发现目前长江口已记录鱼类当中仅定居性种类就有 53 种,因而在长江口生境完成整个生活史循环的鱼类种类较多是长江口鱼类生态类群的一个特点。定居性种类数目较大可能与长江口水域生境多样性较高且面积较大有关,有研究也发现生境面积和复杂程度一定程度上影响着该地区的种类多样性^[28-29]。

3.2 鱼类群落结构

全球河口区鱼类数量分布的一个特征是往往由一种或者几种鱼类占据主导地位^[30]。如在葡萄牙的Mondego河口,前 5 种鱼类占据了生物量和个体数目的 70%^[31],而南半球澳大利亚西部一些河口,个体数量比例最高的 3 种鱼类均为河口定居性鱼类,所占比例均在 90%以上^[32];对三峡大坝建成前的长江口及邻近海域调查发现,1998–2001 年个体数量最多的前 5 种鱼类占了全部数量的 84%^[8]。同理由于长江口也同其他河口一样有着较为严酷的环境,使得能够较好适应这种环境的鱼类种类数目相对较少,因而本研究中栖息密度最高的前 4 种鱼类分别为河口定居性鱼类矛尾虾虎鱼、海洋鱼类棘头梅童鱼、洄游性鱼类凤鲚和刀鲚,他们都是能适应较大盐度变化的种类^[10,23]。

与纬度略低于长江口的浙江三门湾^[33]和瓯江口^[34] 6 月鱼类栖息密度相比,长江口的鱼类栖息密度较高,这可能与本研究中网囊尺寸只有 1 cm,对鱼类的选择性较小因而捕获率较高有关,也可

能同河口地理位置差异导致的初级生产力、水深等环境因素不同有关。

与 1985 年 5 月和 6 月同期调查数据相比^[7],本次调查记录的鱼类物种数目少于 1985 年 5 月和 6 月(图 9a),而鱼类栖息密度却高于 1985 年 5 月和 6 月(图 9b)。由于卢继武等^[7]当时的调查区域与本次调查略有差异,本研究中鱼类种类数目低于他们的研究结果,笔者认为这可能同本次调查水域范围相对较小有关,更可能与长江口如捕捞、水利工程建设、环境污染等人类活动有关。采样方法或者技术的差异一定程度上造成了物种数目的偏差^[3],同时采用多种调查方法能更好地了解河口区鱼类种类组成^[28]。由于底拖网一般只对底层鱼类的捕获率较高^[35],因而为更好地了解长江口的鱼类种类组成,结合多种调查方法如张网、流刺网等进行调查更为合理。

卢继武等^[7]发现 1985–1986 年 5 月和 6 月长江口经济鱼类皮氏叫姑鱼(*Johnius belengerii*)、刀鲚和凤鲚占长江口综合丰盛度的 69.8%和 56%(原文没有给出 5 月和 6 月栖息密度的具体数值,但是其研究发现栖息密度与综合丰盛度之间呈显著正相关,故认为综合丰盛度的比例基本代表了栖息密度的比例),而本研究中经济价值不大的小型鱼类矛尾虾虎鱼占了栖息密度的 70%以上。在选择性捕捞中,体型较大的鱼类往往优先被捕捞^[36],这会减轻对小型鱼类的捕食压力,因而使其大量繁殖,所以出现了本次调查鱼类栖息密度高于 1985 年的现象。笔者认为这并不能说明长江口鱼类资源是在恢复中,恰恰相反的是,这正说明长江口鱼类资源仍在不断地衰退中,鱼类群落结构已经发生了较大的变化,此外,张网调查也发现

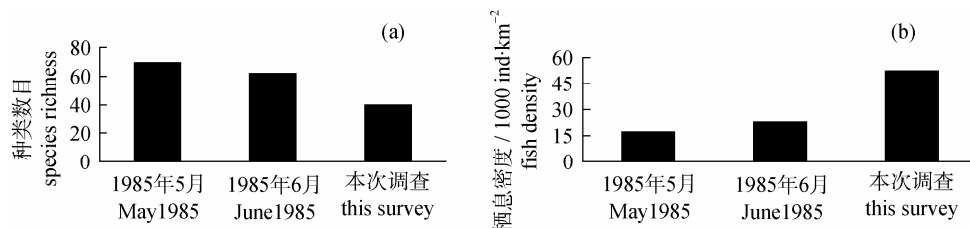


图 9 长江口鱼类种类数目(a)和鱼类密度(b)的比较

Fig.9 Fish species richness(a) and density(b) in this survey compared with those in May or June 1985 in the Yangtze River estuary

了近年来长江口鱼类群落变化较大, 如优势种更替, 多样性指数降低等^[13]。当然, 若要更为全面地反映春季长江口鱼类群落的状况, 还应结合生物量的分布进行分析, 因此在将来的研究中, 这也是今后的研究方向。

3.3 鱼类群落与环境因子的关系

一个特定的区域内鱼类的多样性往往与可利用的生态位和生境大小有关系^[28-29]。鱼类的分布往往与盐度、温度、水深等环境因素有关, 由于河口区很多环境因素并不是连续的^[37], 因而表现出较大的空间异质性, 同时也造成了鱼类群落结构在空间上较大的异质性(图 6)。长江从 4 月份以后开始进入丰水期, 按照 Battaglia^[38]对不同水体盐度的划分, 本研究期间口内区域除 13 和 16 号站位外, 其他站位已经完全受长江冲淡水的控制, 除了能够适应淡水环境的 2 种鲚属洄游鱼类及偶然进入的河口定居性鱼类外, 1-12 号站位鱼类生态类群主要由淡水鱼类构成。而在口内外侧站位, 由于盐度的增加, 生态类群呈现出由洄游性鱼类凤鲚、刀鲚等占据主导的局面。在口外区域, 由于相对口内盐度较高, 各个站位均无淡水鱼类出现, 但是总体上盐度仍为河口区中盐度水体^[38], 所以仍为河口定居性鱼类以及能适应广盐性生境的海洋鱼类占据主导地位。

DCCA 分析表明口内影响因素最大的是水深(图 8a), 其中位于长江口南支水道的多数站位水深与鱼类群落为负相关, 这可能是由于口内区域的多数站点位于长江口航道, 较深的水位, 意味着较多的通航船只, 可能会带来噪声、船舶废弃物、油污和有害化学物质的污染, 另外长江口深水航道治理工程的实施, 一定程度上也破坏了水域生态环境^[4], 这些都会影响鱼类的分布。此外, 从图 8a 可以看出, 盐度对于不同站点有不同的影响。对于 13 和 16 号站(正相关)和其他站位(负相关)的影响是不一致的, 这是由于 13 和 16 号尽管属于河口低盐水体^[38], 但是淡水鱼类已经较难适应, 因而栖息密度已由洄游性鱼类和河口定居性鱼类占据优势, 而口内其他站位为淡水水体^[38],

鱼类种群以淡水鱼类和能适应淡水水体的河口定居性鱼类为主。徐兆礼^[34]认为 6 月瓠江口鱼类的质量和尾数密度与水深密切相关, 同时水流交汇处一般鱼类密度也较高, 而表温是影响鱼类群聚的最主要因素。

对于口外区域(图 9b), 底层 pH 值的影响权重(负相关)最大, 由于底层淤泥中有机质的分解会释放出 CO₂, 使得底层水体中 pH 值下降^[8], 因而一定程度上影响了口外鱼类群落的分布。此外, 研究认为温度是最主要的控制鱼类关键生理、生化和生活史过程的非生物因子, 深刻地影响着鱼类对河口的利用格局^[39], 而盐度是影响物种数目以及个体分布的最主要因素^[25]。在长江口外区域, 表层盐度和底层温度对口外区域鱼类群落的影响也较大。在 Canche 河口^[28]、Elbe 河口^[40]等都有类似的现象出现。

本研究中 DCA 对鱼类群落的排序结果要好于 DCCA(图 7 和图 8), 然而, DCCA 能够同时结合鱼类与环境的分布数据来分析群落组成, 这是 DCA 所不具备的。通过 DCCA 所有轴特征值和其比例的计算也表明, 口内(所有轴特征值和=2.675, 82.3%)和口外(所有轴特征值和=0.813, 79.4%)群落大部分的信息量都得到了解释, 由于 DCCA 结合了环境因子的分布特点, 因而对群落进行排序也是可行的。

由于研究期间口内与口外调查有一定的时间间隔, 在这期间水温及长江淡水径流是逐渐增加的, 从而客观上使得口内和口外区域的环境梯度比同期调查更为明显, 而 DCCA 的分析表明影响长江口口内和口外区域鱼类群落格局的环境因素存在着差异, 那么这种差异究竟是由于调查时间不同而引起抑或是群落本身的特性决定, 此外, 由于季节更替或者长江干流带来的环境因素变化如何影响长江口鱼类群落的变化, 这些都应当是今后研究的方向。

参考文献:

- [1] 杨伟祥, 罗秉征, 卢继武, 等. 长江口鱼类资源调查与研究[J]. 海洋科学集刊, 1992, 33: 281-302.

- [2] Jaureguizar A J, Menni R, Bremec C, et al. Fish assemblage and environmental patterns in the Rio de la Plata estuary[J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2003, 56(5-6): 921-933.
- [3] Simier M, Laurent C, Ecoutin J, et al. The Gambia River estuary: A reference point for estuarine fish assemblages studies in West Africa Estuarine[J]. *Coast Shelf Sci*, 2006, 69(3-4): 615-628.
- [4] 庄平, 王幼槐, 李圣法, 等. 长江口鱼类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 1-57.
- [5] Potter I C, Claridge P N, Warwick R M. Consistency of seasonal changes in an estuarine fish assemblage[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1986, 32(2-3): 217-228.
- [6] Elliott M, Whitfield A K, Potter I C, et al. The guild approach to categorizing estuarine fish assemblage: a global review[J]. *Fish Fish*, 2007, 8(3): 241-268.
- [7] 卢继武, 罗秉征, 薛频, 等. 长江口区鱼类群聚结构、丰盛度及其季节变化的研究[J]. *海洋科学集刊*, 1992, 33: 303-338.
- [8] Yu H C, Xian W W. The environment effect on fish assemblage structure in waters adjacent to the Changjiang (Yangtze) River estuary (1998-2001)[J]. *Chin J Oceanol Limnol*, 2009, 27 (3): 443-456.
- [9] 于海成. 长江口及邻近海域鱼类群聚结构分析[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2008: 1-76.
- [10] 田明诚, 沈友石, 孙宝铃. 长江口及其邻近海区鱼类区系研究. 长江口区鱼类群落结构、丰盛度及其季节变化的研究[J]. *海洋科学集刊*, 1992, 33: 265-280.
- [11] 王幼槐, 倪勇. 上海市长江口区渔业资源及其利用[J]. *水产学报*, 1984, 8(2): 147-159.
- [12] 张国祥, 张雪生. 长江口定置张网渔业调查[J]. *水产学报*, 1985, 9(2): 186-198.
- [13] 郑颖, 戴小杰, 朱江峰. 长江河口定置张网渔获物组成及其多样性分析[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37 (20): 9510-9513.
- [14] 金显仕, 单秀娟, 郭学武, 等. 长江口及其邻近海域渔业生物的群落结构特征[J]. *生态学报*, 2009, 29(9): 4761-4772.
- [15] Chen C T A. The Three Gorges Dam: reducing the upwelling and thus productivity of the East China Sea[J]. *Geophys Res Lett*, 2000, 27(3): 381-383.
- [16] 罗秉征, 薛频, 卢继武, 等. 三峡工程对河口及邻近海域渔业影响的初步探讨[J]. *海洋科学集刊*, 1992(33): 341-352.
- [17] 贾晓平, 李纯厚, 林昭进, 等. 北部湾渔业生态环境与渔业资源[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 4-5.
- [18] Souissi S, Ibanez F, Hamadou B R, et al. A new multivariate mapping method for studying species assemblages and their habitats: example using bottom trawl surveys in the Bay of Biscay (France)[J]. *Sarsia*, 2001, 86(2): 527-542.
- [19] 李圣法. 东海大陆架鱼类群落生态学研究-空间格局及其多样[D]. 上海: 华东师范大学, 2005: 42-43.
- [20] 余世孝. 非度量多维标度及其在群落分类中的应用[J]. *植物生态学报*, 1995, 19(2): 128-136.
- [21] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 131-192.
- [22] 伍汉霖, 邵广昭, 赖春福. 拉汉世界鱼类名典[M]. 基隆: 水产出版社, 1999.
- [23] Froese R, Pauly D. FishBase. World Wide Web electronic publication[DB/OL]. 2010. www.fishbase.org, version (07/2010).
- [24] Potter I C, Bird D J, Claridge P N, et al. Fish fauna of the Severn Estuary. Are there long-term changes in abundance and species composition and are the recruitment patterns of the main marine species correlated?[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 2001, 258 (1): 15-37.
- [25] Macid S, Basset A. Composition, structural characteristics and temporal patterns of fish assemblages in non-tidal Mediterranean lagoons: A case study[J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2009, 83(4): 602-612.
- [26] Martino E J, Able K W. Fish assemblages across the marine to low salinity transition zone of a temperate estuary[J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2003, 56 (5-6): 969-987.
- [27] Claridge P N, Potter I C, Hardisty M W. Seasonal changes in movements, abundance, size composition and diversity of the fish fauna of the Severn Estuary[J]. *J Mar Biol Assoc UK*, 1986, 66(5): 229-258.
- [28] Selleslagh J, Amara R. Environmental factors structuring fish composition and assemblages in a small macrotidal estuary (eastern English Channel) [J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2008, 79 (3): 507-517.
- [29] Wootton R J. Ecology of teleost fishes[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990.
- [30] Cabral H N, Costa M J, Salgado J P. Does the Tagus estuary fish community reflect environmental changes? [J]. *Climate Res*, 2001, 18(1): 119-126.
- [31] Dolbeth M, Martinho F, Viegas I, et al. Estuarine production of resident and nursery fish species: Conditioning by drought events? [J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2008, 78 (1): 51-60.
- [32] Hoeksema S D, Chuwen B M, Potter I C. Comparisons be-

- tween the characteristics of ichthyofaunas in nearshore waters of five estuaries with varying degrees of connectivity with the ocean[J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2009, 85 (1): 22–35.
- [33] 蔡萌, 徐兆礼. 浙江三门湾冬夏季鱼类种类组成和数量变化[J]. *上海海洋大学学报*, 2009, 18(2): 198–205.
- [34] 徐兆礼. 夏秋季瓯江口海域鱼类数量的时空分布[J]. *动物学报*, 2008, 54(6): 981–987.
- [35] Prista N, Vasconcelos R P, Costa M J, et al. The demersal fish assemblage of the coastal area adjacent to the Tagus estuary (Portugal): relationships with environmental conditions[J]. *Oceanol Acta*, 2003, 26 (5-6): 525–536.
- [36] Myers R A, Worm B. Extinction, survival or recovery of large predatory fishes[J]. *Philosoph Transac Royal Soc B*, 2005, 360 (1): 13–20.
- [37] 罗秉征. 河口及近海的生态特点和渔业资源[J]. *长江流域资源和环境*, 1992, 1(1): 24–30.
- [38] Battaglia B. Final resolution of the symposium on the classification of brackish waters[J]. *Arch Oceanogr Limnol*, 1959, 11(suppl): 243–248.
- [39] Harrison T D, Whitfield A K. Temperature and salinity as primary determinants influencing the biogeography of fishes in South African estuaries[J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2006, 66 (1-2): 335–345.
- [40] Thiel R, Sepulveda A, Kafeman R, et al. Environmental factors as forces structuring the fish community of the Elbe estuary[J]. *J Fish Biol*, 1995, 46 (1), 47–69.

Spatial variation in fish community of Yangtze River estuary in spring

SHI Yunrong^{1,2}, CHAO Min¹, QUAN Weimin¹, TANG Fenghua¹, SHEN Xinqiang¹, YUAN Qi¹, HUANG Houjian^{1,2}

1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;
2. Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: For studying the effect and mechanism of variability of habitat factors on important biological resources in the Yangtze River estuary (YRE), we evaluated the relationship between fish community structure and environmental factors in the YRE. We collected fish by bottom trawling and obtained environmental data from 30 stations in the YRE in May and June 2010. In addition, we used historical data to analyze the effect of large hydraulic projects on fish community dynamics in the YRE. We collected a total of 40 fish species belonging to 23 families and 12 formers. The Engraulidae and Gobiidae families were the most abundant (5 species each), followed by Sciaenidae (4 species), and Cynoglossidae (3 species). The trawl catches were dominated by young-of-year juveniles. The most abundant species (94.11% of the total catch) by life history type were *Chaeturichthys stigmatias* (resident), *Collichthys lucidus* (marine migrant), *Collia mystus* (semi-anadromous), and *Collia nasus* (anadromous). Cluster and non-metric multidimension scaling analysis revealed significant spatial variation in the fish community. Of the nine environmental variables we measured, water depth, bottom salinity, and surface salinity were the most significant factors influencing fish species richness and density in the inner zone. Conversely, the fish community in the outer zone was primarily influenced by the bottom pH, surface salinity, and bottom temperature. The number of fish species declined compared to historical catches in May (69 species, 1.72×10^4 ind/km²) and June (62 species, 2.29×10^4 ind/km²) in 1985, though fish density (5.2×10^4 ind/km²) increased. Our results indicate the YRE has still been the spawning and nursery ground for commercial species, but fish community structure has varied.

Key words: the Yangtze River estuary; fish community structure; fish density; environmental factors; multivariate analysis

Corresponding author: SHEN Xinqiang. E-mail: esrms@sh163.net