

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2012.01051

长江口鱼类群落的多样性分析

史赞荣^{1,2}, 晁敏¹, 全为民¹, 黄厚见^{1,2}, 沈新强¹

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 海洋学院, 上海 201306

摘要: 根据 2010 年至 2011 年 4 个季度的底拖网鱼类资源调查资料, 同时根据不同水域的盐度特征, 将长江口的 30 个站位从河段水域至口外依次分为 3 个水域 (Zone-1、Zone-2、Zone-3) 进行分析, 从构成群落的物种分类水平、丰度、二元数据和分类阶元 4 个角度首次探讨了长江口鱼类群落 4 个多样性指数 (种类数目、Pielou 均匀度指数、分类学多样性指数、平均分类学指数) 的分布特征。结果显示, 4 个指数的季节变化均不显著。而种类数目和反映群落不同物种之间亲缘关系的平均分类学指数在空间上变化明显。平均物种数目由 Zone-1 (3.49 种) 至 Zone-3 (10.17 种) 的升高趋势反映出海洋对河口作用的逐渐增强; 平均分类学指数的变化增加趋势说明 Zone-1 的物种亲缘关系最近, 如 Zone-1 只记录 8 科鱼类, 而 Zone-2 和 Zone-3 分别记录 20 和 19 科鱼类。虽然反映不同物种的个体数量分布特征的 Pielou 均匀度指数和反映群落不同个体之间亲缘关系远近的分类学多样性指数空间上差异均不显著, 但它们却呈现相反的变化趋势。多样性指数的空间差异要大于季节差异, 可能与盐度对河口区鱼类群落的分布影响最大有关。本研究通过长江口鱼类群落不同多样性测度的分析, 证实不同多样性测度方法提供的信息不一致, 旨在为更全面地分析河口区鱼类群落特征提供依据。

关键词: 长江口; 鱼类群落; 多样性; 河口生态

中图分类号: S93

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2012)06-1051-09

群落是指生活在一定地理区域或自然生境里的各种生物种群所组成的一个集合体^[1]。群落的多样性指物种数目和个体在种间的分布特征^[2]。在进行群落多样性研究时, 一般指的是物种水平的多样性分析^[2]。传统鱼类群落结构指数主要有两个方面: 出现的种类数目和个体在种类间分布的均匀度^[3]。物种数目是最常见的分析群落多样性的参数之一^[4], 往往受采样方法的影响, 而且只用物种数目作为指标将会忽略群落不同物种的个体数量分布特征^[5]。其他一些传统的生物多样性指数如 Pielou 均匀度指数可较好地处理物种不同个体数量分布的信息^[2]。然而, 不管是物种数目还是均匀度指数都无法对群落不同物种或个体之

间分类学关系的信息做出描述。事实上, 群落中的物种或者个体在分类学上往往还存在着不同联系, 如有些种类或者个体属于同一个属的物种, 有些种类只是属于同一个纲的物种, 因而从这个角度分析, 仅从物种分类阶元进行分析还是不够的, 因为无法提供群落不同分类阶元的信息。同时分类学研究提供的信息往往跟传统的多样性研究不一致, 如有报道发现北海鱼类群落分类学多样性的变动就有别于种类数目的变化^[6]。由此可见, 为更全面地分析群落的多样性状况, 还必须结合分类学多样性的特征加以考虑。

河口生态系统是地球上极为重要的生态过渡区域, 具有生产力高、生态环境独特 (如环境的梯

收稿日期: 2012-01-02; 修订日期: 2012-04-02.

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资助项目 (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

度变化很大)的特点^[7],但是同时也是最容易受到人类扰动的生态系统之一,出现了过度捕捞,生境退化、水体富营养化、污染物增多等问题^[8]。河口生境对生活在其中的鱼类有着重要的生态意义,如河口定居性鱼类全部生活史都在河口完成,很多海洋鱼类又将河口作为的育幼场,河海洄游性鱼类将河口作为上江下海的洄游通道^[9]。鱼类群落是河口生态系统的重要组成部分^[10],如鱼类通过捕食和被捕食行为直接或间接地影响着生态系统的健康。此外,很多河口生活的鱼类还是重要的生物资源^[11]。因而,分析河口鱼类群落的多样性有着显著的科学意义。

河口鱼类群落研究是当今生态学研究的一个热点之一^[12],多数学者基于生物与环境关系的方面分析了河口环境因子对鱼类群落结构时空分布的影响^[13-15],而只有个别学者从群落的种类组成、个体分布及分类学关系的 4 个不同侧面分析了河口区鱼类群落多样性的时空特征^[5]。从不同多样性测度分析河口鱼类群落多样性也是鱼类生态学研究本身的需要。

长江口是中国也是西太平洋地区最大的河口

生态系统,将长江口作为研究区域,具有一定的典型性和代表性。本研究正是通过对长江口 2010 年春季至 2011 年冬季总共 4 个季度鱼类资源底拖网调查资料的研究,从多个多样性角度分析了长江口鱼类群落多样性的时空变化,以期为更全面地评估长江口鱼类群落的特征和保护鱼类资源提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

调查区域位于长江口徐六泾浏河以东至大约 20 m 水深处,总共设 30 个站位。按照河口的定义,本研究的长江口包括狭义的长江口(徐六泾至拦门沙水域)及部分口外海滨水域^[16]。此外,根据长江口盐度的分布特征,对 30 个站位分为 3 个区域(Zone-1、Zone-2、Zone-3)进行分析^[17]。调查区域、站位和不同水域划分见图 1。调查时间分别为 2010 年春季(5-6 月)、夏季(8 月)、秋季(11 月)和 2011 年冬季(2 月)4 个季度。

1.2 采样方法

采用单拖网作业(网具具体参数见表 1),调查

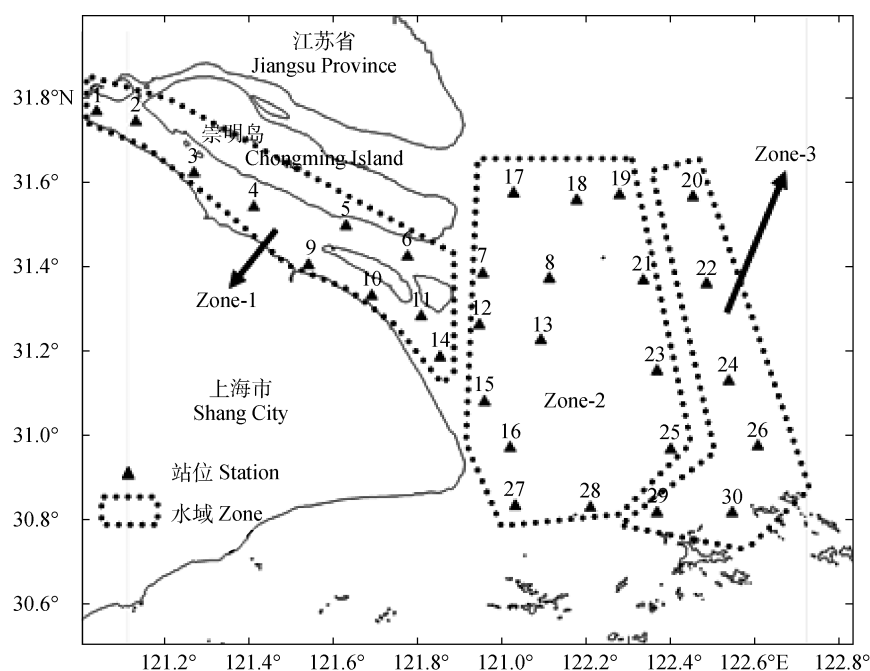


图 1 长江口拖网站位分布图

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

表 1 本研究所用网具参数
Tab. 1 Specifications of the fishing gear used in this study

项目 item	数值 value
网衣长/m length of nettings	18
网衣网目/cm mesh size in the netting	2.5
上纲长/m length of the headline	23
下纲长/m length of the foot line	27
网囊网目/cm mesh size in the cod end	1
网口高度/m vertical opening	4
有效宽度/m horizontal aperture	15

船主机功率为 183 马力, 载重约 60 t, 船速为 2.6 kn 左右, 一般每站拖网作业时间为 0.5 h。到站后先测量底层水温和盐度等环境参数然后进行拖网作业, 同时将鱼类分类、定种、计数。分类系统以 Nelson 系统为准^[18]。

1.3 数据分析

为分析长江口鱼类群落不同测度的多样性特征, 将群落组成分为种类组成、丰度、分类阶元及 2 元数据 4 个测度(图 2)。根据不同多样性指数的定义, 这 4 个方面的两两组合就能直接构成一些多样性测度的方法。另外, 在进行均匀度的计算时, 本研究则采用尾数的计算方法。这是因为长江口鱼类资源事实上已经处于衰退的局面^[19], 因此从资源保护的角度考虑以尾数为基础估算方法更为合理^[20]。

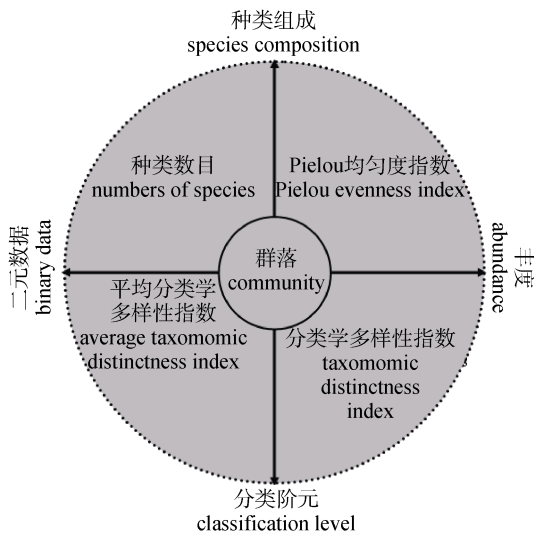


图 2 基于丰度和分类学角度的群落 4 个多样性测度^[5]
Fig. 2 Four facets of diversity estimations based on abundance and taxonomic facets

计算每站的多样性参数:

Pielou 均匀度指数

$$H' = -\sum (P_i \ln P_i / \ln S) \tag{1}^{[1]}$$

平均分类多样性指数

$$\Delta^+ = \sum \sum_{i < j} \omega_{ij} / [S(S-1)/2] \tag{2}^{[21]}$$

分类多样性指数

$$\Delta = \sum \sum_{i < j} \omega_{ij} x_i x_j / [n(n-1)/2] \tag{3}^{[22]}$$

式(1)中, P_i 是第 i 种的丰度与该站位总丰度的比值; 式(2)(表示不同物种之间的亲缘关系)和式(3)(表示不同物种个体的亲缘关系)中, ω_{ij} 为第 i 和 j 个种类在分类系统树中的路径长度, x_i 和 x_j 分别为该站位捕获的第 i 和 j 种类的尾数, S 为该站位记录的种类数目, n 为该站位总共记录的鱼类尾数。

由于个别站位记录的物种数目为 1, 这样会使 Pielou 均匀度和 Δ^+ 的值没有数学意义(Δ 值为 0), 此外为保证统计检验的准确性, 分类学多样性和均匀度分析不包括只记录物种数目为 1 的站位。群落参数的计算采用 R 软件进行(R software version 2.11.0)。此外, 计算每个季节(1 个季节的站位作为 1 个计算单位)或水域(1 个水域的站位作为 1 个计算单位)环境因子及多样性参数的算术平均值, 并对季节之间和区域之间环境因素及 4 个群落参数进行显著性差异检验, 如果参数经检验为正态数据, 则采用 ANOVA 单因素方差分析进行处理。而如果为非正态数据, 则采用 Kruskal-Willis 非参数检验分析。以上统计检验显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 环境因子的分布

2.1.1 盐度 盐度范围为 0.14~32.31, 冬季平均值最高, 夏季最低(图 3)($H=13.5, P < 0.01$)。在空间上从 Zone-1 到 Zone-3 逐渐升高(图 4) ($H=66.54, P < 0.01$)。

2.1.2 温度 水体温度范围为 5.29~30.55℃, 季节平均值最高为夏季, 最低为冬季(图 3)($H=108.6, P < 0.01$)。在空间上, 从 Zone-1 到 Zone-3 有逐渐降低的现象(图 4), 但是统计学差异不显著($H=1.467, P=0.48$)。

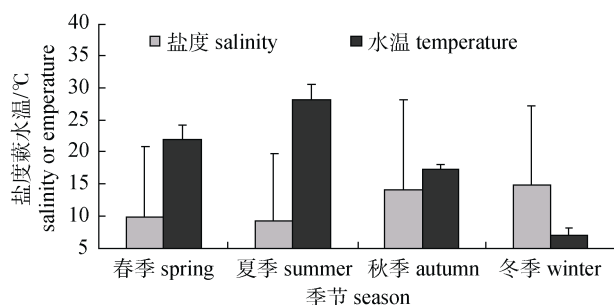


图 3 调查海域盐度和水温的时间变化

Fig. 3 Seasonal variations in salinity and temperature in observed sea areas

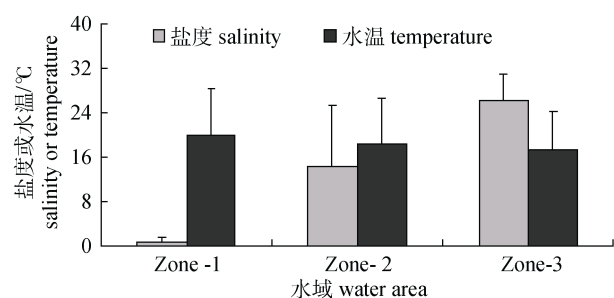


图 4 调查海域盐度和水温的空间变化

Fig. 4 Spatial variations in salinity and temperature in observed sea areas

2.2 群落结构特征

4 个航次总共记录 62 种鱼类, 隶属于 29 科 2 纲, 鲤科、虾虎鱼科和鲷科鱼类记录的数目最多, 均有 7 种, 而石首鱼科记录的种类数目次之, 有 6 种; 此外, 鲈科和舌鳎科的鱼类种类数目也较多, 均记录 5 种; 另外共有 20 个科每科只记录 1 种鱼类。软骨鱼纲仅记录赤鲟 1 种鱼类, 其余均为硬骨鱼类。按照不同物种丰度的分布, 按比例依次为棘头梅童鱼(37.0%)、矛尾虾虎鱼(33.4%)、凤鲚(10.3%)和刀鲚(6.3%), 仅这 4 种鱼类的丰度就占了群落的 85%以上。而科的丰度最高的是石首鱼科(38.7%), 其次为虾虎鱼科(37.1%)和鲷科(16.7%), 这 3 科鱼类的尾数占了全部丰度的 90% 以上。

2.3 多样性参数的分布

2.3.1 种类数目 各站位记录的种类数目均介于 1~15 之间, 季节平均种类数目以秋季最高, 冬季最低(图 5)。经统计检验, 季节间种类数目统计学显著性差异不显著($H=5.30$, $P=0.15$), 而不同水域

平均种类数目则有统计学差异($H=56.43$, $P<0.01$), Zone-3 种类数目最高, 而 Zone-1 最低, 呈现由河口内部区域向往逐渐增高的趋势(图 6)。

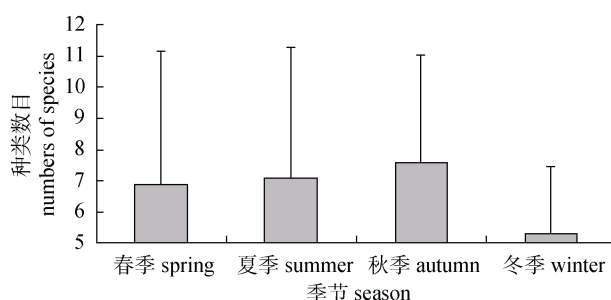


图 5 调查海域鱼类种类数目的季节变化

Fig. 5 Seasonal variations in numbers of fish species in observed sea areas

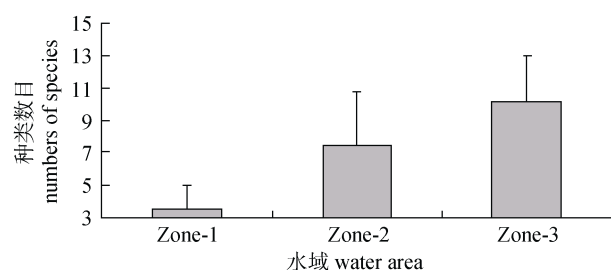


图 6 调查海域鱼类种类数目的空间变化

Fig. 6 Spatial variations in numbers of species in observed sea areas

2.3.2 物种均匀度指数 调查海域的 Pielou 均匀度指数从介于 0.06~1 之间, 季节平均值以冬季最高, 而最低值出现在春季(图 7), 季节之间统计学差异不显著($H=2.89$, $P=0.06$)。而在空间上, Zone-1 的均匀度指数最高, 其次为 Zone-2, 而 Zone-3 最低(图 8), 但不同区域之间统计学差异也不显著($H=1.40$, $P=0.25$)。

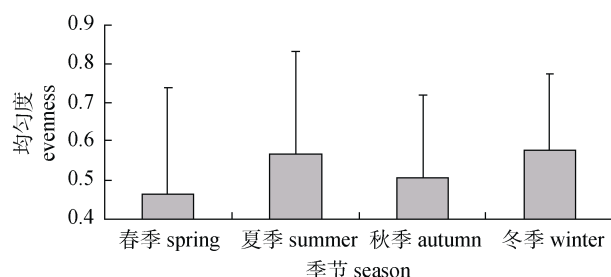


图 7 调查海域 Pielou 均匀度指数的季节变化

Fig. 7 Seasonal variations by Pielou evenness in observed sea areas

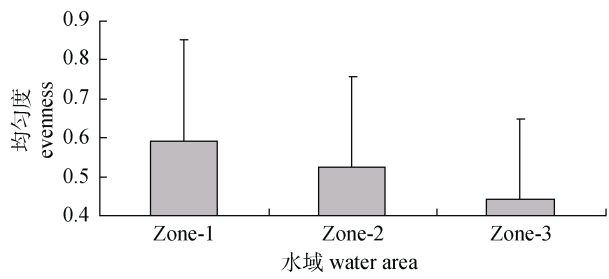


图 8 调查海域 Pielou 均匀度指数的空间变化
Fig. 8 Spatial variations by Pielou evenness in observed sea areas

2.3.3 平均分类学多样性指数 站位鱼类 Δ^+ 最大值为 68.45, 最小值为 33.33。而 Δ^+ 以夏季最高, 春季最低(图 9), 虽然季节间没有统计学差异($F=1.13$, $P=0.34$), 但不同水域之间则存在差异($F=4.02$, $P=0.02$), 其中, Zone-1 的 Δ^+ 极显著低于 Zone-2 和 Zone-3(图 10), 但 Zone-2 和 Zone-3 之间 Δ^+ 没有统计学差异。

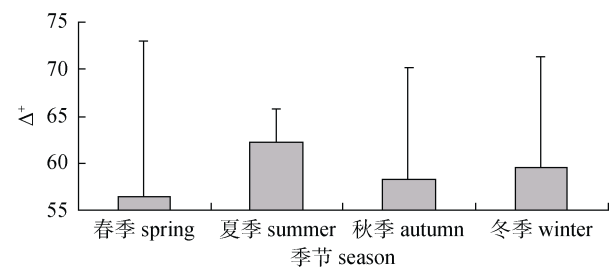


图 9 调查海域平均分类学多样性指数 Δ^+ 的季节变化
Fig. 9 Seasonal variations in Δ^+ in observed sea areas

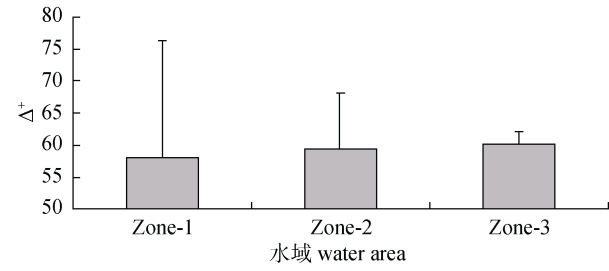


图 10 调查海域平均分类学多样性指数 Δ^+ 的空间变化
Fig. 10 Spatial variations in Δ^+ in observed sea areas

2.3.4 分类学多样性指数 站位分类学多样性 Δ 介于 2.65~48.88 之间, 而季节分类学多样性 Δ 以秋季最高, 春季最低(图 11), 在空间上则以 Zone-2 最高, Zone-1 最低(图 12), 但是无论是季节间还是水域间统计学差异均不显著($F=1.40$, $P=0.25$; $F=$

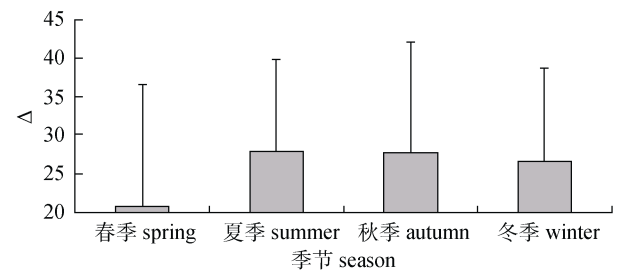


图 11 调查海域分类学多样性指数 Δ 的季节变化
Fig. 11 Seasonal variations of Δ in observed sea areas

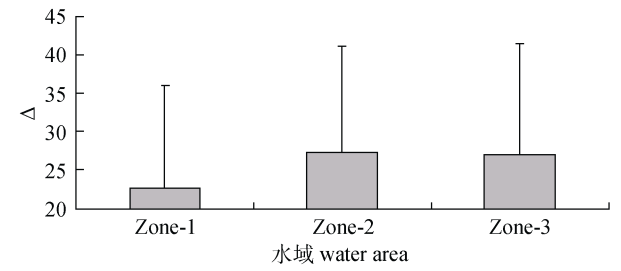


图 12 调查海域分类学多样性指数 Δ 的空间变化
Fig. 12 Spatial variations of Δ in observed sea areas

0.68, $P=0.51$)。

2.4 群落参数之间的关系

由表 2 可见, 各个多样性参数之间的相关性 & 程度有差异。如种类数目与 Δ^+ 无关, Δ^+ 只和 Δ 有关, 并且其相关系数为各个参数之间两两相关的最大值, 这说明一般物种亲缘关系较近的站位, 其个体之间的亲缘关系也越近。

表 2 多样性参数之间的关系(r^2) Tab. 2 Correlations (r^2) between four diversity parameters			
	种类数目 species richness	Δ	均匀度 evenness
Δ^+	0.07 ^{ns}	0.0034 ^{ns}	0.003 ^{ns}
均匀度 evenness	0.12 ^{**}	-0.6622 ^{**}	—
Δ	0.02 ^{ns}	—	—

注: “**”表示 $P<0.01$; “*”表示 $P<0.05$; “ns”表示不显著。
Note: “**” means $P<0.01$; “*” means $P<0.05$; “ns” means not significant.

3 讨论

本研究首次从基于种类组成和丰度视角分析了长江口鱼类群落多样性的时空变化特征。在本研究中, 长江口鱼类群落的 4 个多样性指数呈现

的时空格局的差异性(如种类数目从 Zone-1 向 Zone-3 逐渐升高, 平均分类学多样性指数 Zone-1 最低, 而均匀度指数和分类学多样性指数空间上差异不显著。)以及参数之间的相互关系(平均分类学多样性指数与物种数目和均匀度指数均无关, 而均匀指数与分类学多样性相关程度最好)反映出他们能够提供不同的鱼类群落结构的组成信息, 因而这些多样性指数在环境评价中的作用是不一样的。

各个多样性参数季节之间统计学差异均不显著, 而在空间上反映种类组成的参数(物种数目和平均分类差异指数)均有统计学差异, 这说明在河口水域, 空间上的环境异质性大于季节之间环境的异质性。这是由于河口生境的特殊性决定的。在河口区域, 鱼类群落的空间结构往往和盐度的关系最密切^[13,22], 而在季节更替上, 和水温变化最为密切^[13,23]。不过多数研究发现河口鱼类群落空间上的梯度差异一般都要明显大于时间上的差异^[13,23]。

3.1 种类数目的分布差异

本研究发现在长江口的 3 个不同水域中, 位于最外部的 Zone-3 种类数目最高, 而最内部的 Zone-1 最低。这种现象在全球其他河口也有发现^[24]。这种差别主要是因为不同水域海洋鱼类的分布差异所致(如大多数海洋偶见性鱼类由于偏好高盐度环境, 只在长江口临近水域出现。)。由于盐度是影响鱼类群落空间格局最主要的因素^[13,23], 长江口水域在空间上从口内区域到口外区域盐度有着显著的差异(图 4), 由于淡水鱼类的出现频率低而且数目也低于海洋鱼类, 因而尽管在 Zone-3 没有淡水鱼类出现, 但是从长江口内至口外水域过渡仍然呈现出种类数目逐渐升高的格局, 这也反映出海洋环境和淡水径流的影响对长江口鱼类种类数目的空间分布格局是相反的, 总体上, 海洋环境影响较大的水域记录的种类数目往往多于影响较小的水域。种类数目的空间分布差异一定程度上也可能跟长江口生产力的分布差异有关, 在长江口, 研究发现从口内到口外, 初级生产力逐渐

升高^[25]。种能理论认为, 当有更多的能量输入群落或系统时, 支持更多物种和营养级的可能性也增大^[2]。因而, 由于口外水域生产力较高, 便有可能支持更多的鱼类物种出现。此外, 虽然种类数目在秋季达到最高峰, 冬季最低, 而季节间种类数目统计学差异仍不显著。这反映出冬季长江河口低温环境对鱼类分布(主要是海洋鱼类)的限制依然有限, 这种影响主要体现在阻止海洋偶见性鱼类的进入和降低海洋鱼类的数量分布上(海洋鱼类主要出现在临近海域), 但仍然没有达到统计学差异的程度。鱼类种类数目的差异还跟调查方法^[7]、生境复杂性^[23]等有关, 底拖网调查方法可能对中上层鱼类捕获率较低^[7]。而在大尺度上, 还跟纬度密切相关^[26]。结合长江口及中国其他河口鱼类调查的历史记录(表 3), 可见河口区鱼类种类数目与纬度有着极显著的负相关性 $[y(\text{种类数目}) = -51.574x(\text{纬度}) + 2033.4, r = -0.96, P < 0.01]$ 。

表 3 中国不同河口区鱼类种类数目
Tab. 3 Species richness recording in different estuaries in China

河口 estuary	纬度 latitude	种类数目 species richness
鸭绿江口 ^[27] Yalujiang River estuary	40°00'N	48
莱州湾和黄河口 ^[28] Laizhou bay and Yellow River estuary	37°30'N	96
长江口 ^[29] Yangtze River estuary	31°00'N	339
闽江口 ^[29] Minjiang River estuary	26°00'N	533
九龙江口 ^[29] Jiulongjiang River estuary	24°30'N	803
珠江口 ^[29] Pearl River estuary	22°30'N	1021

3.2 均匀度的时空变化

均匀度与群落不同种类的数量比例有关, 一般数量比例越接近, 均匀度就越高^[1-2]。与种类数目的空间变化趋势相反, 均匀度指数总体上是口外区域小于口内区域, 虽然统计学差异不显著。内河较高的均匀度指数说明其不同种类鱼类的数量比例更为接近。在德克萨斯 Mad Island Marsh estuary^[24]及鸭绿江口^[27], 靠近内河环境的站位其

鱼类群落的均匀度指数也较高。不过, 在密西西比河口, 靠近淡水区域的低盐站位丰度较高同时也有较高的均匀度^[30]。从整个长江口水域来分析, 站位间均匀度指数差异较大。郁尧山等对长江口附近的浙江北部海域的黄龙岛和蚂蚁岛水域的研究也有类似现象出现^[31], 而在纬度更低的中国南海珊瑚礁水域, 均匀度指数的分布比较接近^[20], 且其平均值要高于长江口和浙江北部海域。最有可能的解释就是由于河口区域环境梯度极大, 鱼类群落由少数几种能够适应较大环境梯度变化的鱼类占据绝对优势, 而稀有种较多^[1-2], 因而不同鱼类种类的数量比例悬殊。而在热带珊瑚礁水域, 由于众多微生境的存在, 尽管种类繁多, 但却很少有一种鱼类的数量能占据绝对优势^[1]。这就是长江河口区与热带珊瑚礁海区鱼类均匀度指数有所差异的原因。由于长江径流量有着明显的季度变化特征^[17], 而这种变化是否会引起不同水域鱼类多样性的变化, 同时长江河口生活的不少鱼类物种都有季节性洄游的特征, 而不同水域之间鱼类群落多样性均匀度分布的响应是不是一致, 还未见有报道。因此, 下一步的工作将从长江口不同水域鱼类群落的变化角度进行分析。

3.3 分类学多样性指数的空间分布

理论上, 包含种类数目较多的群落总是比那些包含种类数目较少的群落的平均分类学范围更广^[6,22]。然而, 在本研究中平均分类学多样性是一个与种类数目变化无关的多样性参数。在其他区域, 也有类似的研究发现^[6,32-33]。Zone-1 的分类学指数值较小及两指数之间存在正相关性说明在长江河段区域鱼类群落中无论是物种之间还是个体之间, 其亲缘关系都要近于口外区域鱼类群落。这是由于在河段区域, 一年中环境的梯度特别是盐度的变化相对较小, 主要受长江径流控制, 因而类群的组成以能适应低盐或淡水环境的物种有关。事实上, 分类学关系越近的物种其生态习性一般也较接近, 他们往往有相似的洄游、生殖等习性^[5], 水域 1 群落构成就有这样的特征。如水域 1 中丰度最高的淡水鱼类为同为鲃科的光泽黄颡

鱼(*Pelteobagrus nitidus*) (占 Zone-1 总丰度的 20.9%)和长吻鲃(*Leiocassis longirostris*)(占 Zone-1 总丰度的 0.8%)。此外, 在水域 1 中出现的科的数目仅为 8 科。而在 Zone-2 和 Zone-3 中出现科的数目分别为 20 和 19 科。从更大空间尺度上分析, 一年中环境因素变化较小的区域, 其鱼类的亲缘关系也较近, 如珊瑚礁区季节间温盐变化较小, 而其鱼类群落的分类学多样性也小于河口和陆架水域^[34]。不仅是鱼类, 从大的生物分类单元来看, 海洋环境中生活的门类也比淡水生境多^[1]。相对于传统的多样性指数, 分类学多样性指数因为对环境的变化比较敏感, 可能更适合分析群落的长期动态^[5]。而目前还未见有长江口鱼类分类学多样性历史变动的报道, 因而这也是以后的一个研究方向。

参考文献:

- [1] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 153-180.
- [2] 戈峰. 现代生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 235-261.
- [3] Rice J C. Evaluating fishery impacts using metrics of community structure [J]. ICES J Mar Sci, 2003, 57: 682-688.
- [4] Simier M, Blanc L, Aliaume C, et al. Spatial and temporal structure of fish assemblages in an "inverse estuary", the Sine Saloum system [J]. Estu Coast Shelf Sci, 2004, 59: 69-86.
- [5] Miranda J R, Mouillot D, Hernandez D F, et al. Changes in four complementary facets of fish diversity in a tropical coastal lagoon after 18 years: a functional interpretation [J]. Mar Ecol Progr Sers, 2005, 304: 1-13.
- [6] Rogers S I, Clarke K R, Reynolds J D. The taxonomic distinctness of coastal bottom-dwelling fish communities of the North-east Atlantic [J]. J Anim Ecol, 1999, 34: 768-782.
- [7] 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.
- [8] Crooks S, Turner R K. Integrated coastal management: Sustaining estuarine natural resources [J]. Adv Ecol Res, 1999, 29: 241-289.
- [9] Malavasi S, Fiorin R, Franco A, et al. Fish assemblages of

- Venice Lagoon shallow waters: an analysis based on species, families and functional guilds [J]. *J Mar Syst*, 2004, 51: 19–31.
- [10] Martino E J, Able K W. Fish assemblages across the marine to low salinity transition zone of a temperate estuary [J]. *Estu Coast Shelf Sci*, 2003, 56: 969–987.
- [11] Blaber S J M, Cyrus D P, Albaret J J, et al. Effects of fishing on the structure and functioning of estuarine and nearshore ecosystems [J]. *ICES J Mar Sci*, 2000, 57: 590–602.
- [12] 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.
- [13] Selleslagh J, Amara R. Environmental factors structuring fish composition and assemblages in a small macrotidal estuary (eastern English Channel) [J]. *Estu Coast Shelf Sci*, 2008, 79: 507–517.
- [14] Selleslagh J, Amara R, Laffargue P, et al. Fish composition and assemblage structure in three Eastern English Channel macrotidal estuaries: A comparison with other French estuaries [J]. *Estu Coast Shelf Sci*, 2009, 81: 149–159.
- [15] Leitão R, Martino F, Cabral H N, et al. The fish assemblage of the Mondego estuary: composition, structure and trends over the past two decades [J]. *Hydrobiologia*, 2007, 587: 269–279.
- [16] 余卫鸿. 大型水利工程对长江口生态环境的叠加影响[M]. 郑州: 郑州大学, 2007.
- [17] Chai C, Yu Z M, Song X X, et al. The status and characteristics of eutrophication in the Yangtze River (Changjiang) Estuary and the adjacent East China Sea, China [J]. *Hydrobiologia*, 2006, 563: 313–328.
- [18] Nelson J S. *Fishes of the World* [M]. New York: Wiley, 2006.
- [19] 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.
- [20] 陈国宝, 李永振, 陈新军. 南海主要珊瑚礁水域的鱼类物种多样性研究[J]. *生物多样性*, 2007, 15(4): 373–381.
- [21] Warwick R M, Clarke K R. Taxonomic distinctness and environmental assessment [J]. *J Appl Ecol*, 1998, 35: 532–543.
- [22] Clarke K R, Warwick R M. A taxonomic distinctness index and its statistical properties [J]. *J Appl Ecol*, 1998, 35: 523–531.
- [23] Akin S, Buhan E, Winemiller K O, et al. Fish assemblage structure of Koycegiz lagoon-estuary, Turkey: spatial and temporal distribution patterns in relation to environmental variation [J]. *Estu Coast Shelf Sci*, 2005, 64: 671–684.
- [24] Akin S, Winemiller K O, Gelwick F P. Seasonal and spatial variations in fish and macrocrustacean assemblage structure in Mad Island Marsh estuary, Texas [J]. *Estu Coast Shelf Sci*, 2003, 57: 269–282.
- [25] 郭玉洁, 潘友联. 长江口区初级生产力的研究[J]. *海洋科学集刊*, 1992, 33: 191–199.
- [26] Lappalainen J, Soininen J. Latitudinal gradients in niche breadth and position-regional patterns in freshwater fish [J]. *Naturwissenschaften*, 2006, 93(5): 246–250.
- [27] 解玉浩, 唐作鹏, 解涵等. 鸭绿江河口区鱼虾群落研究[J]. *中国水产科学*, 2001, 3(8): 20–26.
- [28] Chen D G, Shen W Q, Liu Q, et al. The geographical characteristics and fish species diversity in the Laizhou Bay and Yellow River estuary [J]. *中国水产科学*, 2000, 7(7): 46–52.
- [29] 黄良敏. 闽江口和九龙江口及其邻近海域渔业资源现状与鱼类多样性[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011: 1–154.
- [30] Peterson M S, Ross S T. Dynamics of littoral fishes and decapods along a coastal river-estuarine gradient [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1991, 33: 467–483.
- [31] 郁尧山, 张庆生, 陈卫民, 等. 浙江北部岛礁周围海域鱼类群聚特征值的初步研究[J]. *水产学报*, 1986, 10(17): 305–314.
- [32] 李圣法. 东海大陆架鱼类群落生态学研究: 空间格局和多样性[D]. 上海: 华东师范大学, 2005.
- [33] 徐宾铎, 金显仕, 梁振林. 黄海鱼类群落分类学多样性的研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2005, 35(4): 629–634.
- [34] 李永振, 史赞荣, 艾红, 等. 南海珊瑚礁海域鱼类分类多样性大尺度分布格局[J]. *中国水产科学*, 2011, 18(3): 619–628.

Fish community diversity analyses in the Yangtze River estuary, China

SHI Yunrong^{1,2}, CHAO Min¹, QUAN Weimin¹, HUANG Houjiang^{1,2}, SHEN Xinqiang¹

1. East China Sea Fisheries Research Institute, Shanghai 200090, China

2. Marine College of Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Estuarine systems are considered as a typical ecotone, and an estuarine fish community study is considered to be a fundamental ecological research study. Four facets (number of species, Pielou evenness, taxonomic distinctness and average taxonomic distinctness) of community diversity characteristics structuring by species level, abundance, binary data and classification levels were analyzed within the Yangtze River estuary, China, which is divided into three zones (Zone 1, Zone 2, and Zone 3) along the estuarine gradient. Fish sampling was conducted using bottom trawling seasonally from 2010–2011. The results showed that all four diversity parameters did not differ significant among seasons. However, number of species and average taxonomic distinctness both differed significantly among the different zones. An increasing trend in mean numbers of species from Zone-1 (3.49 species)–Zone-3 (10.13 species) was related to the stronger marine influence on the latter zones. Lower values of average taxonomic distinctness in Zone-1 suggested that more species were closely related in Zone-1 than in Zone-2 or Zone-3, for example, 8, 20, and 19 families were recorded in Zone-1, Zone-2, and Zone-3, respectively. Although spatial changes in taxonomic distinctness and evenness were not significant, inverse patterns of the two parameters occurred. Nevertheless, evenness peaked in Zone-1 whereas more individuals were closely related in Zone-1 than in Zone-2 or Zone-3. Moreover, spatial patterns in community diversity were stronger than seasonal variations. This may reflect that salinity plays the major role in driving the estuarine fish community. This work analyzed the four facets of diversity estimations of fish community within the Yangtze River estuary, and further demonstrated that different measured parameters may highlight different information regarding community structure, and will be useful for assessing estuarine fish community diversity.

Key words: the Yangtze River estuary; fish community; diversity; estuary ecosystem

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