

长江口及其邻近海域渔业生物的群落结构特征

金显仕*, 单秀娟, 郭学武, 李显森

(中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室、
农业部黄渤海渔业资源环境重点野外科学观测测试站, 青岛 266071)

摘要: 根据 2006 年 6 月、8 月和 10 月对长江口及其邻近海域渔业生物的底拖网调查数据, 对该海域渔业生物的群落结构特征进行了分析。调查中共捕获渔业生物 207 种, 主要是以暖温性和暖水性的种类为主, 冷温性种类细纹狮子鱼和黄鲛鰈等也出现在调查中并成为优势种。渔业生物的多样性有所升高, 种类的更替加快, 部分洄游种类已成为历史记录。经济价值低、个体小、年龄结构简单和营养层次低的类群在长江口及其邻近海域占据优势地位。调查捕获渔业生物的种类数明显高于 20 世纪 80 年代相应月份的种类数, 但是渔业生物的渔获率和个体数仅占 80 年代调查的 8% 左右。渔获率比较高的区域主要分布在调查区域的北部、中部及河口区域, 但是渔业生物的多样性指数分布与之相反, 因此在具有相对均质高多样性的群落结构条件下很难维持高渔获率。

关键词: 长江口; 渔业生物; 群落结构

文章编号: 1000-0933(2009)09-4761-12 中图分类号: Q145, Q178 文献标识码: A

Community structure of fishery biology in the Yangtze River estuary and its adjacent waters

JIN Xin-Shi*, SHAN Xiu-Juan, GUO Xue-Wu, LI Xian-Sen

Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resource, Ministry of Agriculture, Key Field Station of Observation and Research for Fishery Resource and Environment in Yellow-Bohai Sea, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China
Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4761 ~ 4772.

Abstract: Community structure of fishery biology in the Yangtze River estuary and its adjacent waters were examined based on data collected from bottom trawl surveys in June, August and October, 2006. It was inscribed that there are 207 fisheries species, which were mainly composed of warm water and warm temperature species, cold temperature species, such as *Lophius litulon* and *Liparis tanakae*, also were found in the surveys and became dominant species in fisheries community. Fishery biology diversity increased, the period of shifts of species was reduced, and some migration species were not collected in the surveys. Some ecological groups with lower economic value, smaller size, simpler age structure and lower trophic level were absolutely predominant positions in the Yangtze River estuary and its adjacent waters. The number of fishery biology species in 2006 was higher than that in the 1980's, but the total biomass and the number of individual was about 8% of 1980's surveys. The higher fishery biomass was found in the north part, central part and coastal waters of the survey area, adversely, the higher diversity of fishery biology was found in the southern survey area and outer waters, so it was hard to maintain higher fishery production when higher diversity was evenly distributed in fishery biology community.

Key Words: the Yangtze River estuary; fishery biology; community structure

河口是生态环境十分脆弱和敏感的水域, 其许多理化特征和生物特征并不是过渡性的, 而是具有独特

基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目(30490233); 国家 973 计划课题资助项目(2006CB400608); 山东省泰山学者专项基金资助项目

收稿日期: 2008-10-07; 修订日期: 2008-12-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jin@ysfri.ac.cn

性^[1],因此其对生物种群的繁衍、资源补充及保持生态平衡都具有十分重要的意义。河口也是人类干扰最为严重的区域,近年来对河口资源的大力开发和大型水利工程的兴建,河口的生态环境质量和海洋生物多样性正经受着前所未有的胁迫和影响。长江口是我国最大的河口,位于暖温性的黄海生态系统与暖水性的东海生态系统的交界处,受长江径流及黄海冷水团相互消长的影响,环境因素变化剧烈,生态环境错综复杂,并且随着长江径流源源不断的入海和营养物质的大量输入,使长江口及其临近海域形成了复杂的水文物理条件,成为生产力较高的水域,为海洋鱼类和其他海洋生物提供了有力的生存条件,各种类型的生物聚集在此水域进行繁殖、育幼、索饵,形成了著名的舟山渔场、吕四渔场和长江口渔场^[2]。长江口在我国海洋生态系统的研究中占有重要地位,同时该区域是人口密集和工业发达的地区,人类活动对该海域水环境因子和生物群落结构的变化也产生了重要影响,特别是近年来捕捞压力的逐年增加和全球气候变化的加剧使得渔业生物资源严重衰退,种类更替频繁。我国学者对长江口渔业生物的研究主要包括3个方面的工作:一是对鱼卵、仔稚鱼分布和数量变动及其影响因素进行分析^[3~9];二是研究鱼类的群落结构特征及其变动规律^[10~12];三是对海区渔获率的调查和评估^[13~17]。本文就2006年长江口及其邻近海域渔业生物的种类组成、群落时间序列的易变性及群落的多样性特征进行了分析,以期对渔业生物的群落生态演替动态及其对人类活动和全球气候变动的响应机制提供基础科学资料。

1 材料与方法

1.1 材料来源和处理

材料取自2006年6月、8月和10月对长江口及其邻近海域进行的渔业生物底拖网调查,调查区域为121.93°~125.00°E,27.90°~33.08°N(图1)。调查船“北斗”号网具参数为:网具网目836目×20cm,网口周长167.2m,网具总长度83.2m,囊网网目10/2.4cm,拖速为3kn。每站拖网半小时,对渔业生物进行种类鉴定,记录每一种类的数量和重量,换算为每小时的重量(kg h⁻¹)和尾数(尾 h⁻¹),并与1985~1986年相应月份的数据进行比较^[2]。同时现场用Seabird公司的CTD测定了水深、温度和盐度等环境因子的数据。

1.2 群落的相似性和优势度

用Bray-Curtis相似性指数计算各月份间渔业生物种类组成的差异,分析长江口及其邻近海域渔业生物资源随时间变化的特征:

$$B = 100 \times \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^s |\chi_{ij} - \chi_{im}|}{\sum_{i=1}^s |\chi_{ij} + \chi_{im}|} \right]$$

式中, χ_{ij} 、 χ_{im} 分别为第*i*个种类在第*j*个月份和第*m*个月份的单位时间的渔获量(经过2次平方根转换),*S*为种类数。

根据种类在总样品中重量的比例大小和种类在调查中出现的频次,绘制优势度曲线分析渔业生物群落结构特征。

1.3 群落的多样性指数

本文在研究中采用了如下公式对渔业生物群落的多样性进行分析研究:

Shannon-Weaver 多样性指标^[18]

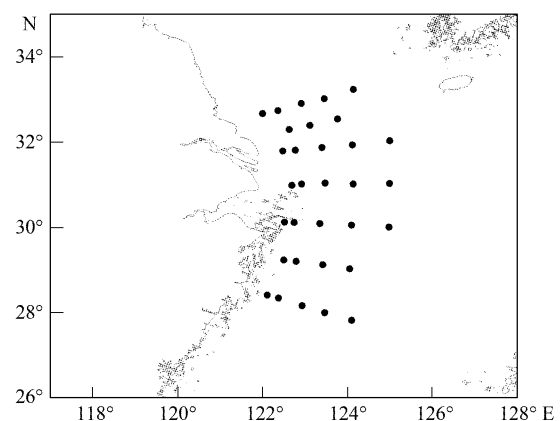


图1 调查站位图

Fig. 1 Sampling stations in the Yangtze River Estuary and adjacent waters

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

Margalef 种类丰度指标^[19]

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

Pielou 均匀度指标^[20]

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

这里 S 为种类数, N 为渔获总重量, P_i 为第 i 种渔获物重量占总渔获物重量的比例。

1.4 群落季节更替指数和迁移指数^[21]

$$AI = \frac{(C + B)}{(A - R)} \times 100 \quad MI = \frac{(C - B)}{(A - R)} \times 100$$

式中, A 为各次调查实际物种数; C 为本次调查新迁入物种数; B 为本次调查迁出物种数; R 为 3 次调查中均出现的物种数。 AI 反映物种更替导致群落稳定性降低的节律, 其值越大则表示群落稳定性小; MI 定义为研究系统外迁入与迁出种的 2 种成分在群落中的相对比例。

1.5 数理统计

全部统计分析和数据作图所采用的软件为 Microsoft Excel, SPSS 16, Surfer 8.0 和 Primer 5。

2 结果

2.1 渔业生物的种类组成及优势种变化

调查中共捕获渔业生物 207 种, 隶属于 22 目 88 科 133 属, 其中头足类 3 目 5 科 6 属 9 种, 主要是长蛸 *Octopus varibilis*、短蛸 *Octopus ocellatus* 和太平洋褶柔鱼 *Todarodes pacificus* 等; 甲壳类 2 目 12 科 16 属 34 种, 主要是十足目的种类; 鱼类最多, 有 18 目 74 科 115 属 164 种, 软骨鱼类 2 目 2 属 2 种, 仅占鱼类总数的 1.2%; 硬骨鱼类 16 目 72 科 113 属 162 种, 鲈形目种类最多, 计 66 种, 占鱼类总数的 40%, 其次是鲷形目 15 种, 鲉形目 12 种, 鳗鲡目 10 种和鲱形目 9 种, 其余各目均在 9 种以下(表 1)。

表 1 长江口及其邻近海域渔业生物各分类阶元的分布

Table 1 Distribution of species diversity of fisheries in systematic order in Yangtze River estuary and its adjacent waters

目 Order	科 Family			属 Genus			种 Species		
	6	8	10	6	8	10	6	8	10
鲈形目 Perciformes	24	25	26	31	35	45	36	40	65
鲷形目 Pleuronectiformes	3	4	5	3	4	8	7	10	15
鲱形目 Clupeiformes	1	2	2	2	7	7	2	7	9
鲉形目 Scorpaeniformes	6	5	6	8	7	8	12	9	10
鲈形目 Tetraodontiformes	2	2	2	2	2	3	4	3	5
鳗鲡目 Anguilliformes	5	5	6	6	5	7	7	7	10
鲉形目 Gadiformes	3	2	3	3	2	3	4	2	4
灯笼鱼目 Myctophiformes	2	2	2	4	3	3	5	3	4
真鲨目 Carcharhiniformes	1	0	1	1	0	1	1	0	1
海鲂目 Zeiformes	1	1	1	1	1	1	1	1	1
鲱形目 Mugiliformes	1	2	2	1	2	2	1	2	2
鲱形目 Siluriformes	0	0	1	0	0	1	0	0	1
刺鱼目 Gasterosteiformes	2	1	2	2	1	2	2	1	2
鲛形目 Lophiiformes	4	1	2	4	1	3	4	1	3
颌针鱼目 Belontiiformes	0	1	0	0	1	0	0	1	0
鳐形目 Rajiformes	0	0	1	0	0	1	0	0	1
月鱼目 Lampriformes	1	0	0	1	0	0	1	0	0
十足目 Decapoda	11	11	11	12	12	12	31	26	29
八腕目 Octopoda	1	1	1	1	1	1	2	1	2
乌贼目 Sepioidea	3	3	3	3	3	3	5	6	4
枪形目 Enoploteuthidae	1	1	1	1	1	1	1	1	1
口足目 Stomatopoda	1	1	1	1	1	1	1	1	1
总计 Total	73	70	79	87	89	113	127	124	170

表 2 渔业生物优势种的变化

Table 2 Changes of dominant species in biomass from the surveys

月份 Month	种类名 Species	BED	BED%	F
6	带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	19.0	23.1	13
	中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>	16.8	20.5	1
	细点圆趾蟹 <i>Ovalipes punctatus</i>	13.6	16.6	9
	小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	5.2	6.4	10
	鳀鱼 <i>Engraulis japonicus</i>	4.9	6.0	7
	双斑螭 <i>Charybdis bimaculata</i>	1.9	2.3	3
	发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>	1.8	2.2	8
	鰾齿鱼 <i>Champsodon capensis</i>	1.8	2.2	8
	黄鮟鱇 <i>Lophius litulon</i>	1.8	2.2	9
	中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i>	1.2	1.4	8
	合计 Total	68.0	83.0	76
8	带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	36.6	20.5	23
	小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	35.9	20.1	17
	龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	20.2	11.3	6
	刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>	10.0	5.6	20
	细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakae</i>	9.6	5.4	1
	双斑螭 <i>Charybdis bimaculata</i>	7.4	4.2	14
	发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>	4.7	2.6	15
	海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	4.2	2.4	8
	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	4.0	2.3	14
	中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i>	3.6	2.0	18
	合计 Total	136.2	76.4	136
10	三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	28.3	21.4	17
	小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	10.7	8.1	19
	刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>	10.0	7.6	17
	口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	8.6	6.5	20
	带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	8.4	6.3	21
	矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	7.4	5.6	21
	白姑鱼 <i>Arggrosomus argentatus</i>	5.0	3.8	18
	龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	4.9	3.7	9
	发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>	3.9	2.9	14
	中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i>	3.5	2.7	20
	合计 Total	90.8	68.6	176

BED (biomass effort density), BED% 分别表示种类的渔获率 (kg h^{-1}) 及其占总渔获率的百分比; F 表示该种类出现的站位数 BED, BED% represent biomass (kg h^{-1}) and their percentages; Respectively, F denotes the number of station caught

表 2 列出 3 次调查渔获率前 10 位的渔业生物种类平均渔获率及其占总渔获率的百分比和出现频率。6 月、8 月份和 10 月份前 10 位生态优势种的渔获量分别约占总渔获率的 83%、76.4% 和 68.6%。带鱼 *Trichiurus haumela* 在 6 月和 8 月的调查中均占据首位,平均渔获率分别占总渔获率的 23.1% 和 20.5%,但是在 10 月份的调查中明显下降,仅占 6.5%;中国毛虾 *Acetes chinensis*、细点圆趾蟹 *Ovalipes punctatus* 和鳀鱼 *Engraulis japonicus* 在 6 月份的调查中平均渔获率分别占总渔获量的 20.5%、16.6% 和 6.0%,在 8 月和 10 月份的调查中其平均渔获率均低于总渔获率的 2%;小黄鱼 *Pseudosciaena polyactis* 在 3 次调查中均处于优势地位,分别占总渔获率的 6.4%、20.1% 和 8.1%;三疣梭子蟹 *Portunus trituberculatus* 在 8 月的调查中占总渔获率的 2.3%,但是在 10 月的调查中占总渔获率的 21.4%;另外,发光鲷 *Acropoma japonicum* (2.2%、2.6% 和 2.9%) 和中华管鞭虾 *Solenocera crassicornis* (1.4%、2.0% 和 2.7%) 的平均渔获率在 3 次调查中保持相对稳

定,并且占总渔获率的比例有小幅上升,由上可以看出 3 次调查渔业生物优势种组成和其平均渔获率都有显著变化。渔业生物重量比例累计达 95% 的种类优势度曲线(图 2A)显示,虽然 3 次调查优势种类不同,但是没有显著突出的优势种,3 次调查最高单种的平均渔获量均为总渔获率的 25% 以下,8 月份优势种出现频次的累积值相对较大(图 2B)。

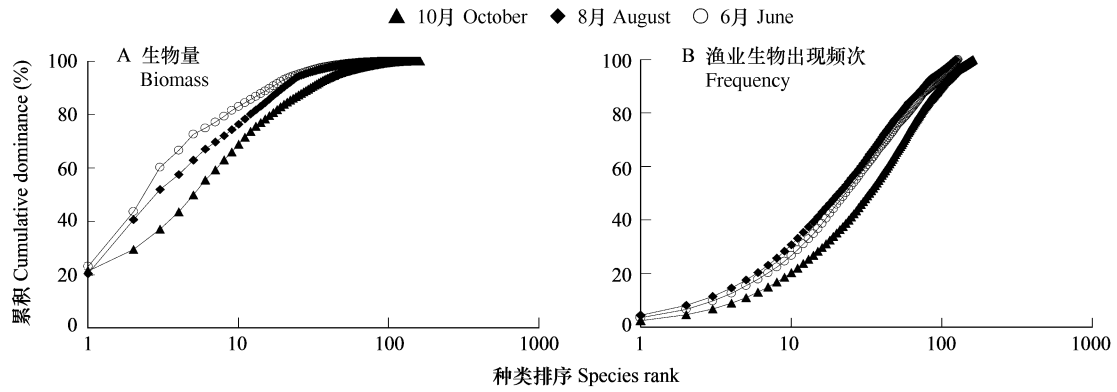


图2 长江口及其邻近水域渔业生物的优势度曲线

Fig. 2 Dominance curves of three surveys in Yangtze River estuary and its adjacent waters

2.2 渔业生物渔获率的变化

长江口及其邻近水域渔业生物的渔获率在 3 次调查中有显著变化(图 3,图 4)。6 月份渔业生物的渔获率是 82 kg h^{-1} ,仅为 8 月份的 46.1%,10 月份的 62.1%。出现这种变化的原因主要是底层鱼类渔获率的下降,底层鱼类的渔获率为 8 月份的 28.0%,10 月份的 53.2%;中上层鱼类的渔获率在 3 次调查中略有增加;经济无脊椎动物的渔获率变化不大。尾数渔获率也具有类似的变化,8 月份尾数渔获率增加的比例

要快于渔获率增加的比例,但是 10 月份尾数渔获率增加的比例要慢于渔获率增加的比例。从种类组成相似性来看(表 3),用重量表示的种类组成比以出现频次表示的种类组成变化明显,以出现频次表示的渔获率组成在 3 次调查中相近程度较高,而以重量表示的渔获率组成却以 6 月份和 8 月份相似性最高,6 月份和 10 月份相似性最低。

2.3 渔业生物空间分布的变化

根据 3 次调查渔业生物的尾数渔获率指标对其空间分布进行分析(图 5)。结果表明,在 6 月份渔业生物

表3 渔获率组成的相似性

Table 3 The similarity index of species composition between months			
月份 Month	渔业生物出现频率 Frequency		
	6	8	10
6		51.93	76.32
8	77.34		69.87
10	59.93	73.06	
渔业生物重量 Weight			

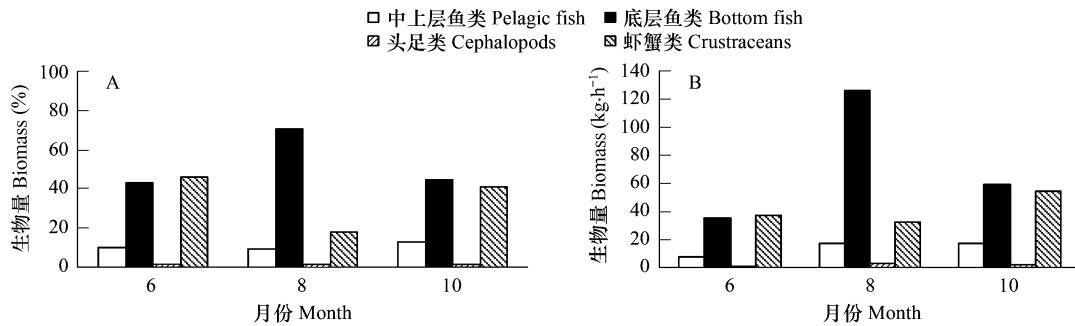


图3 渔获率的变化

Fig. 3 Variations of biomass in fisheries

主要分布在调查区域的北部和南部及靠近河口地区;在 8 月份渔业生物在整个调查区域都有分布,并且尾数渔获率最高,为 309 尾 h^{-1} ;在 10 月渔业生物除调查区域的中部远离河口区呈相对均匀分布。

2.4 渔业生物的多样性变化

本文采用以单位时间的渔获重量计算的种类丰富度指数(D)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')和种类均匀度指数(J')来研究长江口及其邻近水域渔业生物群落的多样性特征,其综合了渔业生物的丰富度和均匀度,可度量渔业生物群落的生态多样性和异质性。从图 6 可以看出,渔业生物的 H' 、 J' 、 D 从 6 月份到 10 月份

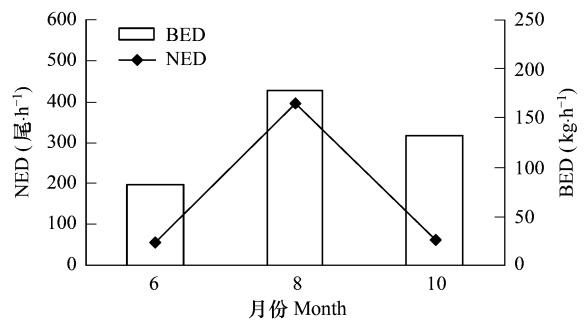


图 4 渔业生物尾数渔获率 NED (number effort density) 和渔获率 (BED) 的变化

Fig. 4 Changes of NED and BED in fisheries between months

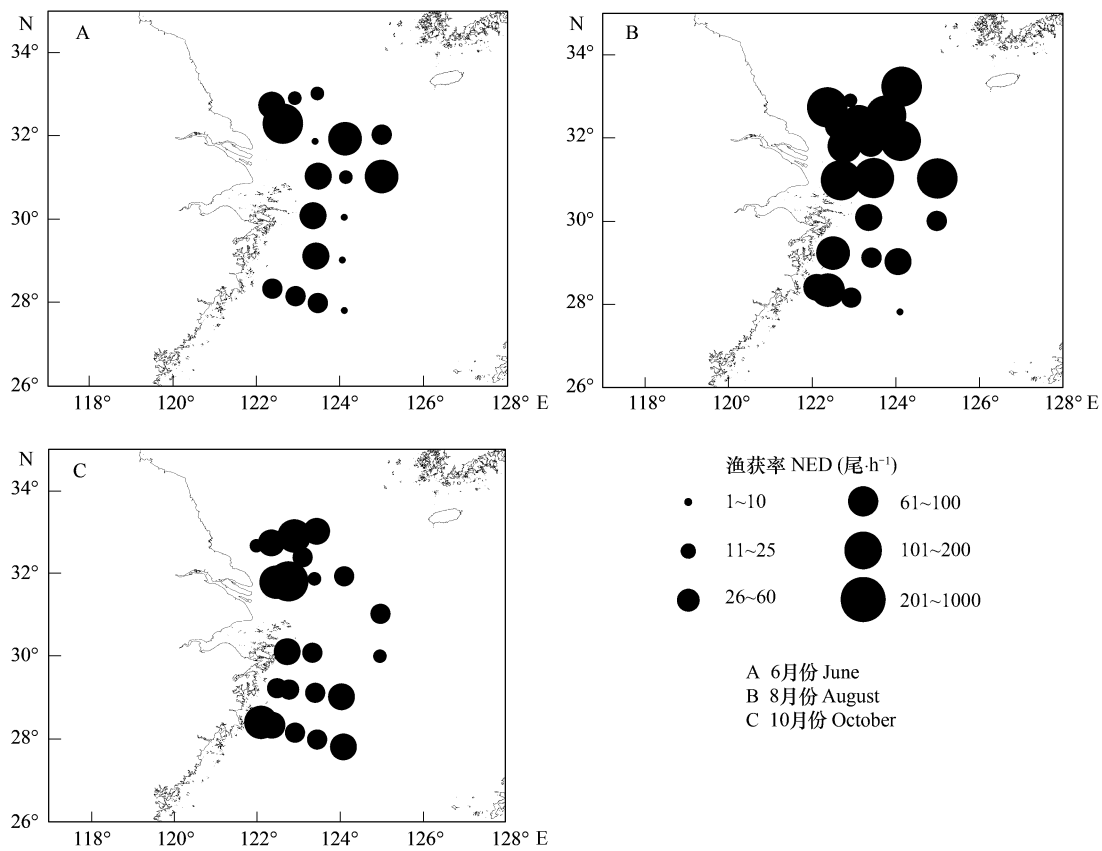


图 5 渔业生物的尾数渔获率(NED)空间分布图

Fig. 5 Distribution of NED of fisheries in the Yangtze River estuary and its adjacent waters

有逐渐升高的趋势,并且 10 月份的波动范围要小于 6 月份和 8 月份(H' , 6 月份,0.19 ~ 2.04,8 月份,0.10 ~ 2.35,10 月份,0.79 ~ 2.92; J' , 6 月 0.10 ~ 0.89;8 月,0.04 ~ 0.71,10 月,0.26 ~ 0.77; D ,6 月 0.37 ~ 3.56,8 月,0.26 ~ 2.63,10 月,1.68 ~ 4.26)。在 6 月份渔业生物多样性指数小于其他月份,但是其均匀度和丰富度指数均大于 8 月份和 10 月份。从图 7 可以看出 6 月份渔业生物的多样性指数空间分布格局呈现:南部高,北部低,东部大,西部小的分布趋势,即远离河口区域渔业生物的多样性指数较高;8 月份渔业生物多样性指数较高的地区主要分布在靠近河口地区和调查区域的中部;10 月份调查区域的南部和中部远离河口区渔业生物的多样性指数较高。对 3 次调查的多样性指数进行 Tukey-HSD 检验,6 月份和 8 月份之间不存在显著差

异,而 10 月份与 6 月份和 8 月份之间均存在显著差异($P < 0.01$)。

2.5 渔业生物群落结构的稳定性

根据 3 次调查的渔业生物种类数(A)、移入和移出种数(C 和 B)和各个航次均出现的种类数(R)可以计算出各个月份的更替指数和迁移指数,从而用来估测渔业生物在 3 次调查中的变化趋势。从图 8 可以看出,稳定性最差的是 10 月份,其更替指数可达 135,迁移指数达 43;6 月份和 8 月份的更替指数都小于 100,迁移指数也较小,迁入和迁出的种类处于相对平衡状态。

3 讨论

3.1 渔业生物的种类组成和优势种的演替

从本次调查各科种类的总数和各科种类数在每个月的分布中,可以看出渔业生物种类在不同月份之间变化较大,并且本次调查渔业生物的种类组成与 1985 ~ 1986 年长江口周年调查^[2]中同期的渔业生物种类组成也有很大变化,渔业生物的种类有所增加。在本次调查中共获渔业生物 207 种,其中鱼类 164 种,占 79.2%, 3 次调查均出现的鱼类 47 种,主要是一些暖温性种类(鳊鱼、小黄鱼、矛尾鰕虎鱼 *Chaeturichthys stigmatias*、刺鲃 *Psenopsis anomala*、竹荚鱼 *Trachurus japonicus*、细条天竺鱼 *Apogonichthys lineatus* 等)和暖水性种类(带鱼、白姑鱼 *Arggrosomus argentatus*、龙头鱼 *Harpodon nehereus*、黄鲫 *Setipinna taty*、海鳗 *Muraenesox cinereus*、鰕齿鱼 *Champsodon capensis*、前肛鳗 *Dysomma anguillaris*、绿鳍鱼 *Chelidonichthys kumu*、银鲳 *Pampus argenteus* 等),冷

温性的鱼类主要是细纹狮子鱼 *Liparis tanakae*;甲壳类 34 种,占 16.4%,调查中均出现的种类有 27 种,主要是三疣梭子蟹、双斑蟳 *Charybdis bimaculata*、细点圆趾蟹、哈氏仿对虾 *Parapenaeopsis hardwickii*、鹰爪虾 *Trachypenaeus curvirostris*、口虾蛄 *Oratosquilla oratoria*、中华管鞭虾、中国毛虾等;头足类 9 种,占 4.4%, 3 次调查均出现的有 4 种,分别是长蛸、日本枪乌贼 *Loligo japonica*、剑尖枪乌贼 *Loligo edulis*、曼氏无针乌贼 *Sepiella maindroni*。在 1985 ~ 1986 年的长江口周年调查中 6 月份、8 月份和 10 月份共获得渔业生物 147 种,其中鱼类 99 种,占 67.3%,在 3 个月份均出现的鱼类 29 种,同本次调查一样,暖水性的鱼类如银鲳 *Pampus argenteus*、皮氏叫姑鱼 *Johnius belengerii*、龙头鱼、带鱼、燕尾鲳 *Pampus nozawae*、鳓 *Ilisha elongata*、海鳗等,暖温性的鱼类主要是凤鲚 *Coilia mystus*、刀鲚 *Coilia ectenes*、棘头梅童鱼 *Collichthys lucidus*、小黄鱼、细条天竺鱼、鳊鱼、大黄鱼 *Pseudosciaena crocea* 等,冷温性的种类没有出现。另外在本次调查中,软骨鱼类的种类大量减少,仅有双髻鲨 *Sphyrna zygaena* 和斑魮 *Raja kenoei* 两种,尖头斜齿鲨 *Scoliodon sorrakowah*、孔魮 *Raja porosa*、中国魮 *Dasyatis sinensis*、奈氏魮 *Dasyatis navarrae* 没有调查到。硬骨鱼类鳙、有明银鱼 *Salanx ariakensis*、前颌间银鱼 *Hemisalax prognathus*、中华海鲇 *Arius sinensis*、暗色东方鲀 *Fugu obscurus* 也没有出现。但是一些冷温性种类如细纹狮子鱼、三齿躄鱼 *Phrynelox tridens*、黄鲛鰈 *Lophius litulon*、鰕齿鱼在调查中出现。1985 ~ 1986 年 6 月、8 月和 10 月的调查中甲壳类 38 种,占 25.9%,在调查中均出现的种类有 16 种;头足类 5 种,占 4.4%,在调查中均出现的种类有 3 种,甲壳类和头足类种类组成与本次调查差异不大。

由于渔业生物优势种的季节更替和水域环境的变化而产生了群落时空结构的相对不稳定性。在 1985 ~

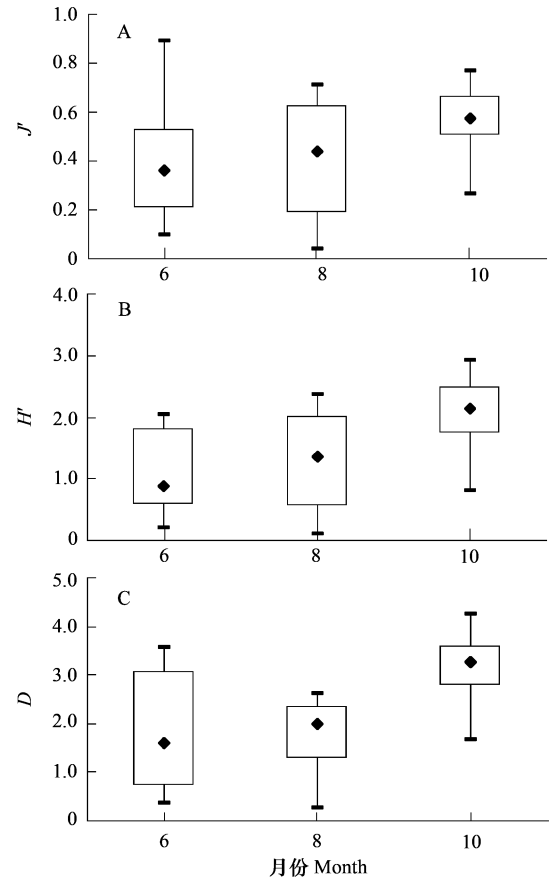
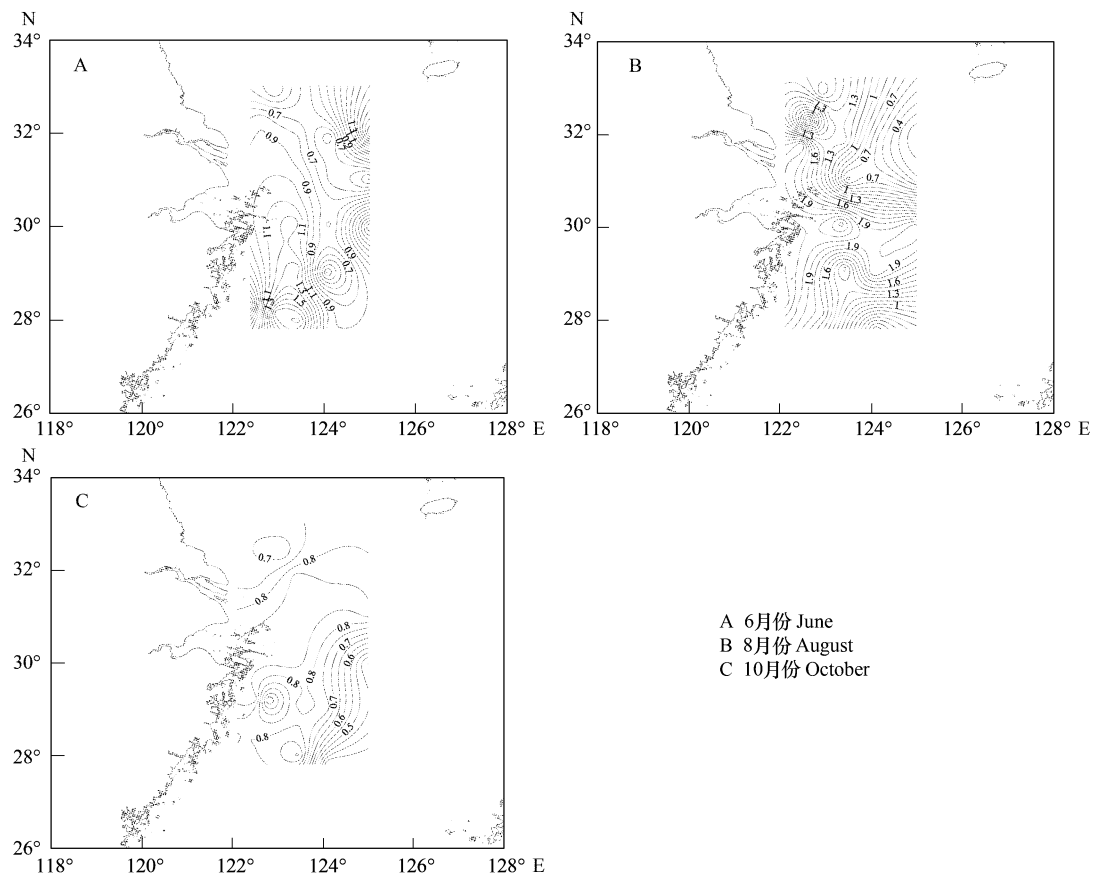


图 6 渔业生物多样性指数的变化

Fig. 6 Changes of diversity indexes in fisheries

图7 渔业生物多样性指数 H' 的分布Fig. 7 Patterns of distribution of index H' in the Yangtze River estuary and its adjacent waters

1986年3个月的调查中渔业生物的优势种主要是凤鲚、刀鲚、银鲳、燕尾鲳、大黄鱼、小黄鱼、带鱼、海鲢、鳙、白姑鱼、三疣梭子蟹、安氏白虾 *Exopalaemon annandalei* 和脊尾白虾 *Exopalaemon carinicauda* 等。在本次调查中,优势种不仅与1985~1986年调查中同期产生了很大变化,并且在3个月份间渔业生物的优势种也有很大差异。除带鱼、小黄鱼、海鲢、三疣梭子蟹外,其他经济种在本次调查中均已不占优势;龙头鱼、发光鲷、鲷鱼等小型鱼类成为优势种;新出现的冷温性种类鳐齿鱼、黄魮(6月份)和细纹狮子鱼(8月份)成为优势种。以前的研究也证实鳐齿鱼在夏季、秋季、冬季的东海中部均占据前五位^[22],对2000年冬季东海底层鱼类的研究中却发现黄魮已经不再是优势种^[23]。全球气候变暖,海水温度有所升高,冷温性种类成为长江口及其邻近海域夏季的优势种其真正原因尚待进一步探讨。长江口渔业生物种类正由经济价值高、个体大、年龄结构复杂和生态系统中营养层次高的种类向经济价值低、个体小、年龄结构简单和营养层次低的类群演替,并且种类的更替加快,这在其他有关河口和近海渔业资源结构的研究中也有类似结果^[12,21,24~29]。出现上述变化的原因主要包括3个方面:一是与捕捞作业的结构有关,底拖网为主的捕捞渔业使底层的大型经济鱼类迅速减少;二是渔业生物捕食关系的改变,大型鱼类数量的下降直接导致一些小型鱼类被捕食的机会减小,捕食压力的

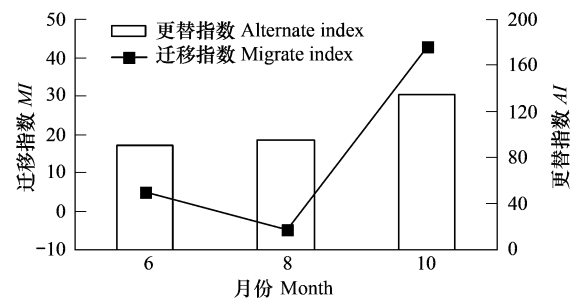


图8 长江口及其邻近海域渔业生物的更替指数(MI)和迁移指数(AI)

Fig. 8 The MI and AI of fishery biology in the Yangtze River estuary and its adjacent waters

减小使得小型鱼类数量急剧增加,成为控制群落能流的优势种,进而改变了群落的结构;三是渔业生物本身固有的特性对自然水域环境的变化和外界人为压力所做出的一种适应性响应,例如过度捕捞使得一些经济鱼类带鱼、小黄鱼、大黄鱼等资源量迅速下降,它们初次性成熟的体长变小、性成熟年龄提早,开始由 K -选择型向 r -选择型转换^[10],甚至产卵场和其适宜生存条件也发生了改变^[30],甚至只允许捕捞达到某一体长规格鱼类也会导致上述生物学特征、遗传学特征和行为的改变^[31,32],这是鱼类为了维持种族的繁衍、增加资源量补充和维持生物群落动态平衡的一种被动适应。另外,渔业生物体长和数量的减小,使得所占的生态位降低,对群落的能流和结构的贡献有所减小,不存在绝对的群落优势种,为了维持群落的平衡,群落内部自我调节,种类快速更替,允许更多的种类生存在该生态系统内,因此群落内出现优势度相对均衡的优势种,这充分证实了在剧烈变化的河口环境中,物种的替换所达到的适应比种内的适应更为有效。

3.2 渔业生物渔获率的变动

从渔业生物重量比例累积达 95% 的种类优势度曲线分析得知,3 个月份的调查没有显著突出的优势种,最高单种的渔获率也在总渔获率的 25% 以下。相似性分析显示 6 月份和 8 月份的生物量组成相似性最高,而 6 月份和 10 月份的相似性最低。以上说明渔业生物因为个体自身生态习性的差异而出现种类和数量上的季节更替,并且这种变化不是跳跃式的,而是存在一定程度上的过渡性,这在 1985 ~ 1986 年的调查中也有发现。渔业生物种类数在本次调查中要多于 1985 ~ 1986 周年调查中相应月份渔业生物的种类数,其重量渔获率和尾数渔获率却显著低于 1985 ~ 1986 年,约为 1985 ~ 1986 年调查中的 8% 左右。本次调查中 8 月份尾数渔获率增加的比例要显著高于重量渔获率增加的比例,这也充分说明了渔业生物个体逐渐变小的趋势。凤鲚、海鳗、带鱼、大黄鱼、小黄鱼、曼氏无针乌贼、三疣梭子蟹的渔获率在本次调查中急剧下降,龙头鱼、鲢鱼、发光鲷、中华管鞭虾的渔获率在调查中相对占优势。渔业生物的种类数在本次调查中有所增加,特别是鱼类,但是主要是一些小型的种类,并且年龄结构相对简单,主要是一些 1 龄和 2 龄的鱼类;一些相对大型的经济种类也在体长和数量上大幅度降低,并且底层鱼类资源衰退严重,这是长江口及其邻近海域主要以底拖网为主的捕捞渔业生产结构决定的。东海北部鱼类群落结构也有类似的研究结果^[33]。另外,三峡工程的建设,改变了长江径流原有的季节分配格局,而长江径流量的大小对河口和近海的海洋环境条件,特别是水文物理条件有显著的影响,并且制约着生物群体的变迁和鱼群的行动,进而影响着产卵场、渔场的位置及渔业资源的产量^[6,13]。凤鲚、鲮 *Mugil cephalus*、梭鱼 *Mugil soiuy*、东方鲀属的种类、安氏白虾和脊尾白虾等栖息于河口低盐水域内,分布范围和资源量随径流的大小和冲淡水的范围而变^[2],三峡工程蓄水后,以上主要的河口经济种类与 1985 ~ 1986 年周年调查中相应月份的资源量相比在调查区域内迅速下降。过度捕捞也是长江口及其邻近海域渔业资源迅速衰退的原因,渔业资源自身的再生能力远远不能适应这种盲目增长的人为压力,渔场面积缩小,一些主要经济种类的渔场甚至消失,种类的更替加快,优势种的优势度和重要性下降,致使渔业资源种群结构发生明显变化,很难维持渔业资源的可持续发展^[2,12, 25, 28, 34]。水母类资源在长江口海区的迅速增加也直接导致了渔业生物资源的下降,特别是带鱼、小黄鱼和银鲳的资源量,这在东、黄海大型水母类资源和渔业资源的关系研究中也得到证实^[35],水母主要摄食浮游动物,这和一些鱼类及仔稚鱼形成摄食竞争压力,甚至直接可以摄食仔稚鱼,已有研究证明水母是幼鱼种群数量的主要调节者^[36]。在本次调查 3 个月份的水母渔获率均超过 35.6 kg h^{-1} ,在 8 月份甚至达到 309.2 kg h^{-1} ,这可能对本次调查中的渔获率产生一定的影响。另外,近岸环境的污染和赤潮的频发也给渔业生物带来了很大的负面影响,对渔获率的下降也发挥了一定的作用^[37,38]。

3.3 群落结构的时空变化、多样性及其稳定性

河口环境的剧烈变化,造成水域环境内理化结构和能量分带,使得渔业生物在种类和数量上存在着空间和时间分布上的季节更替,本次调查中渔获率较高的地区主要分布在调查区域的北部和靠近河口地区及温盐度变化较大的近岸半咸水水域,而南部岛礁和温盐度相对较小的外侧高盐深水水域生物量较小。而在 1985 ~ 1986 年调查中 6 月、8 月份和 10 月份的渔获率除在调查区域的北部较高和南部岛礁生物量较低外,调查区域

的外侧生物量也较高,并且河口近岸的水域渔获率较低,这可能与渔业生物种类组成的变化有关,近岸的种类适应于高温、低盐且多变的环境,长距离洄游的种类适应于低温、高盐且稳定的环境。另外,在调查中发现盐度和温度值总体明显高于 20 世纪 80 年代相应月份的盐度和温度值,本次调查 8 月份的盐度分布趋势与 20 世纪 80 年代的分布趋势类似,在靠近长江口和调查区域的东北部盐度较低,这与长江冲淡水在该月份从长江口转向东北流向有关^[2],但是该月份的温度与 80 年代同期的温度相比调查区域的高温区北移,并且在本次调查中,调查区域南部温度由沿岸到近海逐渐降低,而在 80 年代同期具有相反的结果。在 80 年代 10 月份调查区域中部温度最高,然后向调查区域的北部和南部依次递减,但是在本次调查中温度从调查区域的北部到调查区域的南部呈现递增状态;盐度值在本次调查中的要高于 80 年代同期的盐度值,但是具有相同的分布趋势,从沿岸到调查区域外侧盐度递增。这种水域环境中温度、盐度值和分布的变化与该水域中渔业生物的种类有密切的关系,但是关于环境因子出现的这种变化,特别是温度的变化,尚待进一步探讨。从图 5 和图 7 可以看出,渔业生物多样性指数的分布与渔获率的分布存在一定的差异,生物量高的区域多样性反而小,进一步证明了群落中优势种的主导作用。在本次调查中 10 月份的多样性指数最高,与其他月份存在显著差异,但是从更替指数可以看出 10 月份的稳定性最差,群落的稳定性是研究群落间相互作用的过程的重要指标,是群落成员在长期变化中维持基本特征的适应能力,由此可看出长江口及其邻近海域渔业生物的种类存在明显的季节更替,并且 10 月份河口区的种类最多,虽然环境中适当的扰动能够增加生物的种类,有利于维持生物群落结构的动态平衡^[1],但是从 10 月份渔业生物群落的更替指数和迁移指数来看,其群落结构处于不稳定状态。由此可以看出不同的渔业生物在生态系统中占据着不同的生态位,发挥着不同的作用,在有限的资源空间中,它们相互制约、相互协作维持相对的动态平衡,一旦这种平衡被打破,渔业生物的种类和数量也会随之改变,群落结构就会发生变化,经过一段波动期,又会形成新的平衡。另外,生境污染和不合理的利用格局,可以破坏生物资源的自我更新机制,导致生物群落内多重生态位的交替失调^[21,24,39],这也是渔业生物群落结构出现年际变化的原因。

在生态系统自身的演替规律、环境变化及人类活动的共同作用下,长江口及其邻近海域渔业生物种类更替加快,部分洄游种类已成为历史记录,经济价值低的、个体小的、年龄结构简单和营养层次低的类群在该海域占据优势地位。虽然种类多样性有所增加,但是相似度减小,群落结构变化大,因此在具有相对均质的高多样性渔业生物群落结构条件下很难维持高渔获率。另外,生物自身在生理生态学对外界环境变化做出的响应是一个复杂的过程,这种根据时序资料进行的相关分析,一定程度上可以反映了生物与环境压力之间的变化,但对其变化的生物学过程还尚待进一步研究。

References:

- [1] Odum E P. Fundamentals of Ecology. Third edition. Philadelphia, London: W B Saunders Company Toronto, 1971.
- [2] Luo B Z, Shen H T. The Three Gorges Dam and ecological environment in estuary. Beijing: Scientific Press, 1994. 253—343.
- [3] Wu G Z. The ecological characteristics of distribution of eggs, larvae and juveniles of the *Engraulis japonicus* and *Stolephorus commersoni* in the Changjiang River Estuary. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1989, 20(3): 217—229.
- [4] Yang D L, Wu G Z, Sun J R. The investigation of pelagic eggs, larvae and juveniles of fishes at the mouth of Changjiang River and adjacent areas. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1990, 21(4): 346—355.
- [5] Xu Z L, Yuan Q, Jiang M, *et al.* An investigation of fish eggs, larvae and juveniles in the Changjiang estuary. *Journal of Fishes Sciences of China*, 1999, 6(5): 63—64.
- [6] Shan X J, Xian W W, Wu Y F. Dynamic changes in the ichthyoplankton community structure after the sluice of the Three Gorges Dam. *Journal of Ocean University of China*, 2005, 35(6): 936—940.
- [7] Jiang M, Shen X Q, Wang Y L, *et al.* Species of fish eggs and larvae and distribution in Changjiang Estuary and vicinity waters. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28(2): 171—174.
- [8] Jiang M, Wang Y L, Yuan Q, *et al.* Characteristics of species composition of fish eggs and larvae in East China Sea in summer. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 152—158.

- [9] Liu L, Lin N, Zhong J S, *et al.* Occurrences on the fish larvae of three warm water species in the surf zone of the Yangtze Estuary. *Marine Fisheries*, 2008, 31(1): 62—66.
- [10] Lu J W, Luo B Z, Xue P. Seasonal variations of fish community structure and richness in the Yangtze River estuary. *Studia Marina Sinica*, 1992, 33: 303—340.
- [11] Li J S, Li S F, Cheng J H. The composition and diversity of fishes on fishing grounds of Changjiang estuary. *Marine Fisheries*, 2006, 28(1): 37—41.
- [12] Li J S, Li S F, Ding F Y, *et al.* Analysis on annual change of fish diversity in Yangtze estuary offshore water area. *Journal of Fisheries Sciences of China*, 2007, 14(4): 637—643.
- [13] Luo B Z, Xue P, Lu J W. Impact of the Three Gorges Projects on the fishery of the Changjiang River estuary and adjacent waters. *Studia Marina Sinica*, 1992, 33: 341—352.
- [14] Li J S, Li S F, Ren Y P, *et al.* Seasonal variety of fishery biology community structure in fishing ground of the Yangtze estuary. *Journal of Fisheries Sciences of China*, 2004, 11(5): 432—439.
- [15] Li J S, Cheng J H. Analysis on the dynamic of fishery biological resources on the fishing grounds of the Changjiang estuary. *Marine Fisheries*, 2005, 27(1): 33—37.
- [16] Chen Y Q. Fisheries status in estuarine front zone of Changjiang (Yangtze River) River and adjacent waters. *Journal of Fisheries Sciences of China*, 1995, 2(1): 91—103.
- [17] Lu J W, Luo B Z, Lan Y L, *et al.* Studies on characteristics and successions of structure of fishery resources in the China seas. *Studia Marina Sinica*, 1992, 36: 198—211.
- [18] Shannon C E, Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- [19] Margalef R. *Information theory in ecology*. General System, 1958, 3: 36—71.
- [20] Pielou E C. *Ecological Diversity*. New York: Wiley, 1975.
- [21] Zhu X H, Wu H Z, Xu F S, *et al.* The changes of community diversity of nekton and their correlative factors in the coastal waters of Yellow-Bohai Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 1994, 16(3): 102—112.
- [22] Liu Y, Li S F, Cheng J H. A study on seasonal changes of the fish communities in the East China Sea and Huanghai Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28(4): 108—114.
- [23] Chen 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. *Journal of Fisheries of China*, 2004, 28(1): 29—34.
- [24] Zhu X H, Miao F, Liu D, *et al.* Spatiotemporal pattern and dominant component of fish community in the Yellow River estuary and its adjacent waters. *Studia Marina Sinica*, 2001, 43: 141—151.
- [25] Jin X, Tang Q. Changes in fish species diversity and dominant species composition in the Yellow Sea. *Fisheries Research*, 1996, 26: 337—352.
- [26] Jin X S, Tang Q S. The structure, distribution and variation of the fishery resources in the Bohai Sea. *Journal of Fisheries Sciences of China*, 1998, 5(3): 18—24.
- [27] Jin X S. The dynamics of major fishery resources in the Bohai Sea. *Journal of Fisheries Sciences of China*, 2001, 7(4): 22—26.
- [28] Jin X S. The change of community structure of nekton in the waters of southern Shandong Peninsula in spring. *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27(1): 19—25.
- [29] Xu B D, Ren Y P, Ye Z J, *et al.* Fish community structure in the coastal waters of Qingdao in spring and autumn. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(10): 4224—4233.
- [30] Lin L S, Cheng J H, Jiang Y Z, *et al.* Spatial distribution and environmental characteristics of the spawning ground of small yellow croaker in the southern Yellow Sea and the East China Sea. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3485—3494.
- [31] Conover D O, Munch S B. Sustaining fisheries yields over evolutionary timescales. *Science*, 2002, 297: 94—96.
- [32] Walsh M R, Munch S B, Chiba S, *et al.* Maladaptive changes in multiple traits caused by fishing: impediments to population recovery. *Ecology Letters*, 2006, 9: 142—148.
- [33] Cheng J H, Ding F Y, Li S F, *et al.* Changes of Fish Community Structure in the Coastal Zone of the Northern Part of East China Sea in summer. *Journal of Natural Resource*, 2006, 21(5): 775—782.
- [34] Jin X. Fishery biodiversity and community structure in the Yellow and Bohai Seas. *American Fisheries Society Symposium*, 2003, 38: 643—650.
- [35] Yan L P, Li S F, Ding F Y. The preliminary studies on the dynamics of macro-jellyfish resources and their relationship with fisheries in the East China Sea and Yellow Sea. *Marine Fisheries*, 2004, 26(1): 9—13.
- [36] Ma X P, Fan S J. The function of jelly fish on marine food web. *Marine Sciences*, 1998, 2: 38—42.
- [37] Sun Z Z, Qi J Y, Zeng Z C, Zhang Y P, Sun J, Hao Y M. Polychlorinated biphenyls in the water, soil and aquatic animals from the Jiuduansha

wetland of Yangtze River estuary. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(3): 92—97.

[38] Xian W W, Kang B, Liu R Y. Jellyfish Blooms in the Yangtze Estuary. *Science*, 2005, 307: 41.

[39] Deng J Y, Jin X S. Study on fishery biodiversity and its conservation in Laizhou Bay and Yellow River estuary. *Zoological Research*, 2000, 21(1): 76—82.

参考文献:

[2] 罗秉征,沈焕庭. 三峡工程与河口生态环境. 北京:科学出版社,1994. 253~343.

[3] 吴光宗. 长江口海区鲢鱼和康氏小公鱼鱼卵和仔、稚鱼分布的生态特征. *海洋与湖沼*, 1989, 20(3): 217~229.

[4] 杨东莱,吴光宗,孙继仁. 长江口及其临近海区浮性鱼卵和仔稚鱼的生态研究. *海洋与湖沼*, 1990, 21(4): 346~355.

[5] 徐兆礼,袁骥,蒋玫,等. 长江口鱼卵和仔、稚鱼的初步调查. *中国水产科学*, 1999, 6(5): 63~64.

[6] 单秀娟,钱薇薇,武云飞. 三峡工程蓄水前后秋季长江口鱼类浮游生物群落结构的动态变化初探. *中国海洋大学学报*, 2005, 35(6): 936~940.

[7] 蒋玫,沈新强,王云龙,等. 长江口及其邻近水域鱼卵、仔鱼的种项组成与分布特征. *海洋学报*, 2006, 28(2): 171~174.

[8] 蒋玫,王云龙,袁骥,等. 东海中尺度夏季鱼卵仔鱼种类组成特征. *生态学报*, 2007, 27(1): 152~158.

[9] 刘磊,林楠,钟俊生,等. 长江口沿岸碎波带三种暖水性鱼类仔鱼的出现. *海洋渔业*, 2008, 31(1): 62~66.

[10] 卢继武,罗秉征,薛频. 长江口区鱼类群聚结构、丰度及其季节变化的研究. *海洋科学集刊*, 1992, 33: 303~340.

[11] 李建生,李圣法,程家骅. 长江口渔场鱼类组成和多样性. *海洋渔业*, 2006, 28(1): 37~41.

[12] 李建生,李圣法,丁峰元,等. 长江口近海渔业生物多样性的年际变化. *中国水产科学*, 2007, 14(4): 637~643.

[13] 罗秉征,薛频,卢继武. 三峡工程对河口及邻近海域渔业影响的初步探讨. *海洋科学集刊*, 1992, 33: 341~352.

[14] 李建生,李圣法,任一平,等. 长江口渔场渔业生物群落结构的季节变化. *中国水产科学*, 2004, 11(5): 432~439.

[15] 李建生,程家骅. 长江口渔场渔业生物资源动态分析. *海洋渔业*, 2005, 27(1): 33~37.

[16] 陈源泉. 长江河口锋区及邻近水域渔业. *中国水产科学*, 1995, 2(1): 91~103.

[17] 卢继武,罗秉征,兰永伦,等. 中国近海渔业资源结构特点及演替的研究. *海洋科学集刊*, 1996, 36: 198~211.

[21] 朱鑫华,吴鹤洲,徐凤山,等. 黄渤海沿岸水域游泳动物群落多样性及其相关因素的研究. *海洋学报*, 1994, 16(3): 102~112.

[22] 刘勇,李圣法,程家骅. 东海、黄海鱼类群落结构的季节变化研究. *海洋学报*, 2006, 28(4): 108~114.

[23] 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. *水产学报*, 2004, 28(1): 29~34.

[24] 朱鑫华,缪锋,刘栋,等. 黄河口及其邻近海域鱼类群落时空格局与优势种的特征研究. *海洋科学集刊*, 2001, 43: 141~151.

[26] 金显仕,唐启升. 渤海渔业资源结构、数量分布及其变化. *中国水产科学*, 1998, 5(3): 18~24.

[27] 金显仕. 渤海主要渔业生物资源变动的研究. *中国水产科学*, 2001, 7(4): 22~26.

[28] 金显仕. 山东半岛南部水域春季游泳动物群落结构的变化. *水产学报*, 2003, 27(1): 19~25.

[29] 徐宾铎,任一平,叶振江,等. 青岛近岸水域春、秋季鱼类群落结构. *生态学报*, 2007, 27(10): 4224~4233.

[30] 林龙山,程家骅,姜亚洲,等. 黄海南部和东海小黄鱼产卵场分布及其环境特征. *生态学报*, 2008, 28(8): 3485~3494.

[33] 程家骅,丁峰元,李圣法,等. 夏季东海水域近海鱼类群落结构变化. *自然资源学报*, 2006, 21(5): 775~782.

[35] 严利平,李圣法,丁峰元. 东海、黄海大型水母类资源动态及其与渔业关系的初探. *海洋渔业*, 2004, 26(1): 9~13.

[36] 马喜平,凡守军. 水母类在海洋食物网中的作用. *海洋科学*, 1998, 2: 38~42.

[37] 孙振中,戚隽渊,曾智超,张玉平,孙骥,郝永梅. 长江口九段沙水域环境及生物体内多氯联苯分布. *环境科学研究*, 2008, 21(3): 92~97.

[39] 邓景耀,金显仕. 莱州湾及黄河口水域渔业多样性及其保护研究. *动物学研究*, 2000, 21(1): 76~82.