

长江口春季鱼类浮游生物群落结构 与环境因子的关系*

朱鑫华 刘 栋 沙学绅

(中国科学院海洋研究所)

随着源源不断的淡水径流入海与营养物质的输入,使长江口及其邻近海域成为生产力最高的水域,也孕育了我国近海重要的舟山渔场、吕泗渔场和长江口渔场。咸淡水的交汇形成了长江口水域复杂的水文物理条件,使之成为众多鱼类的产卵场和育幼场(赵保仁等,1992;罗秉征等,1994)。河口鱼类浮游生物群落结构及其季节变化格局,既受制于其生殖种群的资源量,也与水域环境稳定性密切相关(Blaber *et al.*, 1997; Joyeux, 1998; Whitfield, 1999),因而受到国内外的广泛关注。有关以成体为基础的河口鱼类群落生态学已有较多的调查研究(杨伟祥等,1992;朱鑫华等,1994a, b);而鱼类补充群体的研究,亦多集中于鱼卵和仔稚鱼的种类组成和分布等(杨东莱等,1990;沙学绅,1962)。本文利用1999年5月长江口生态环境与资源综合调查资料,主要研究鱼类浮游生物群落结构及其与环境因子的关系,以期深入探讨河口区鱼类补充过程与近海资源数量变动的关系,为动态监测三峡工程对河口生态环境影响提供科学依据。

一、材料与方法

1. 网具规格和船只

租用渔业生产船只沪金渔 7171 和 7172,于 1999 年 5 月 9~17 日,按照《海洋调查规范》(GB12763.1-7-91)采用大型浮游生物网在长江口水域进行水平和垂直取样(图 1)。水平拖网 10min,垂直拖网自底层到表层。所得样品保存于 5% 的福尔马林溶液中。此外,逐站同时进行包括海洋物理、沉积地质、生物环境和渔业资源等若干专业的调查项目。

2. 观测项目及分析方法

在实验室内,采用生物解剖镜对各站鱼类浮游生物样品进行种类鉴定、个体计数和发育阶段的判别。定量资料取自水平和垂直网采数据,并采用公式 $C_b = N_b / (\text{网口面积} \times \text{拖网绳长})$ 计算鱼类浮游生物密度(个或尾/ m^3), N_b 为全网鱼卵或仔、稚鱼个体数(个或尾),网口面积为 0.5m^2 。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 4115 号。

国家自然科学基金资助项目,49876024 号;国务院三峡工程建设委员会委托项目, SX[2001]-018 号。

收稿日期:2000 年 12 月 25 日。

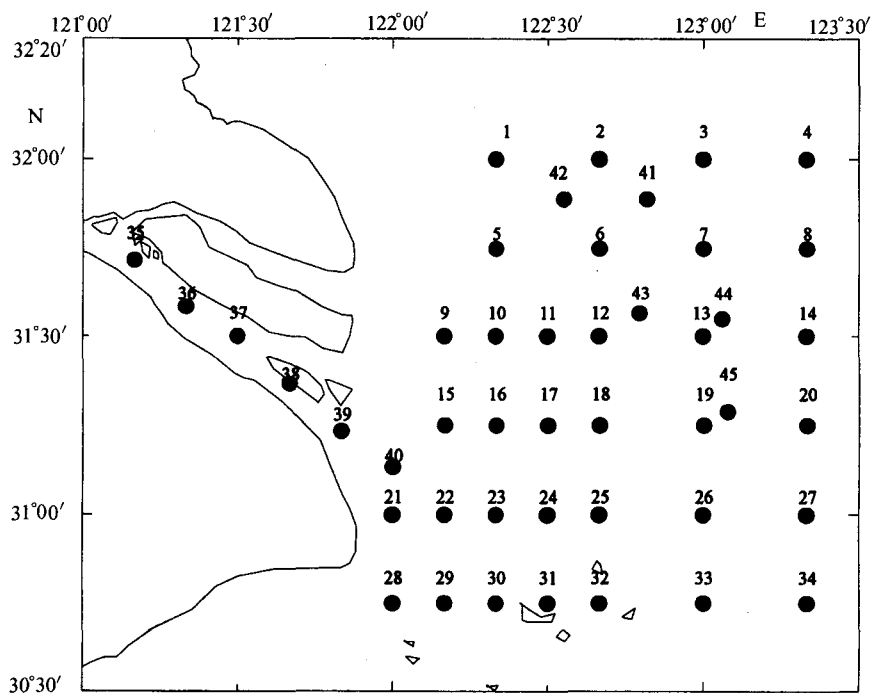


图1 长江口调查站位图

Pianka(1971)提出相对重要性指数(Index of Relative Importance, *IRI*)。该指数结合研究测度的个体数、生物量组成和出现频率等信息,已广泛地应用于鱼类摄食生态和群落优势种成分的研究中(朱鑫华等,1996)。本文运用 *IRI* 指数,对鱼类浮游生物优势种结构进行分析。由于鱼卵仔鱼个体均很小,故不考虑生物量密度(*BED*),只考虑个体数密度(*NED*)

$$IRI = N\% \times F\%$$

式中, *F* 为垂直与水平频次和,避免忽略任何一方, *N* 为水平与垂直网数量之和。采用 Surfer6.0 软件绘制鱼类浮游生物空间分布图;其他统计分析方法均采用 Statistica5.1 中的相关模块。

二、结 果

1. 种类组成

经分类鉴定,本次调查拖获鱼类浮游生物隶属于 9 目 15 科 19 属 20 种(类),包括淡水鲤科鱼类 3 种和海水鱼类 17 种(类)(表 1)。依物种对水文环境的适应特征,所获鱼类浮游生物以沿岸、半咸水和近海生态类型为主,占 90%;纯淡水或岩礁种类较少,仅为 10%。按适温习性分析,已确认的 14 种鱼,暖温性 11 种,占 79%,暖水性 3 种,占 21%。由此可见,长江口水域鱼类浮游生物群落结构以河口区暖温性种类占据主要成分。

表 1 长江口春季鱼类浮游生物种类组成

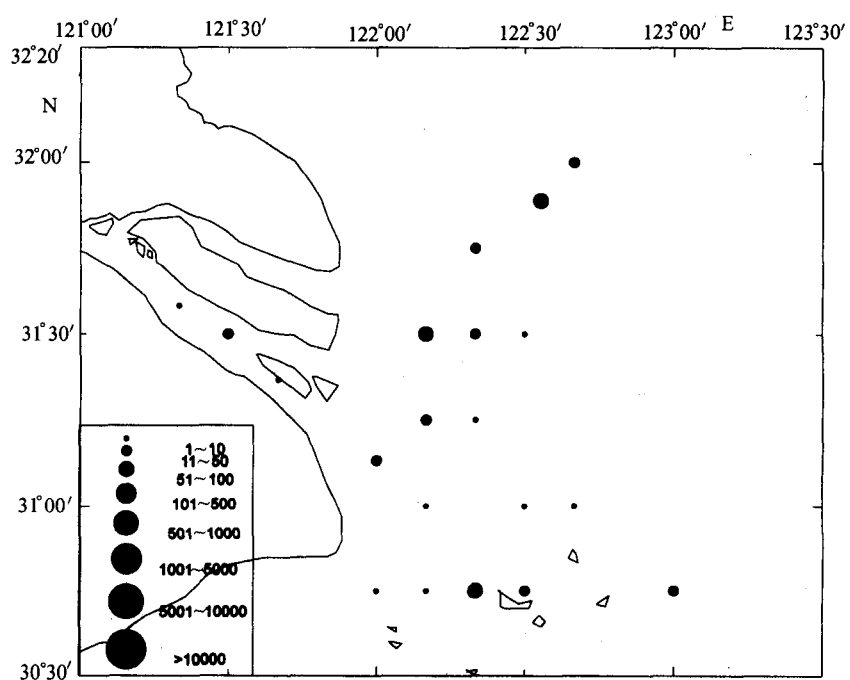
种名	生态类型	区系
鳀(<i>Engraulis japonicus</i>)	近海	WT
凤鲚(<i>Coilia mystus</i>)	半咸水	WW
前颌间银鱼(<i>Hemisalanx prognathus</i>)	半咸水	WT
鲤科(Cyprinidae)	淡水	
须鲢属(<i>Brotula</i> sp.)	近海	
鲃(<i>Liza haematocheila</i>)	半咸水	WT
大黄鱼(<i>Pseudosciaena crocea</i>)	沿岸	WT
小黄鱼(<i>Pseudosciaena polyactis</i>)	沿岸	WT
鲷科(Sparidae sp.)	近海	
鲈(<i>Pneumatophorus japonicus</i>)	近海	WW
银鲳(<i>Pampus argenteus</i>)	沿岸	WT
竿鰕虎鱼(<i>Luciogobius guttatus</i>)	半咸水	WT
六丝矛尾鰕虎鱼(<i>Chaeturichthys hexanema</i>)	半咸水	WT
褐菖鲉(<i>Sebastiscus marmoratus</i>)	近岸岩礁	WT
鲷(<i>Platycephalus indicus</i>)	近海	WW
单鳍鲷(<i>Draculo mirabilis</i>)	近海	WT
短吻红舌鲷(<i>Cynoglossus joyneri</i>)	沿岸	WT
鲉科(Tetraodontidae sp.)	半咸水	

2. 数量特征

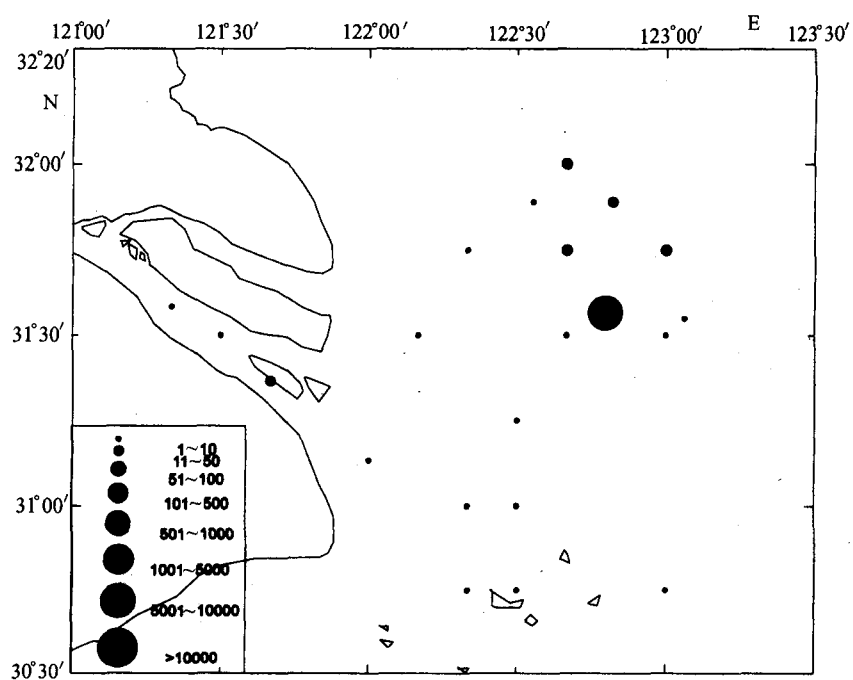
调查区内共获得鱼卵 6644 粒,仔、稚鱼 14 932 尾,其中垂直网获得鱼卵 6261 粒,仔、稚鱼 1173 尾;水平网获得 383 粒鱼卵和 13 759 尾仔、稚鱼。鱼卵的 94.24% 出现在垂直网中,仔、稚鱼的 92.14% 出现在水平网中,反映出鱼卵水体中的悬浮性质和仔、稚鱼随个体发育和水系随波逐流的空间分布特性。

3. 空间分布

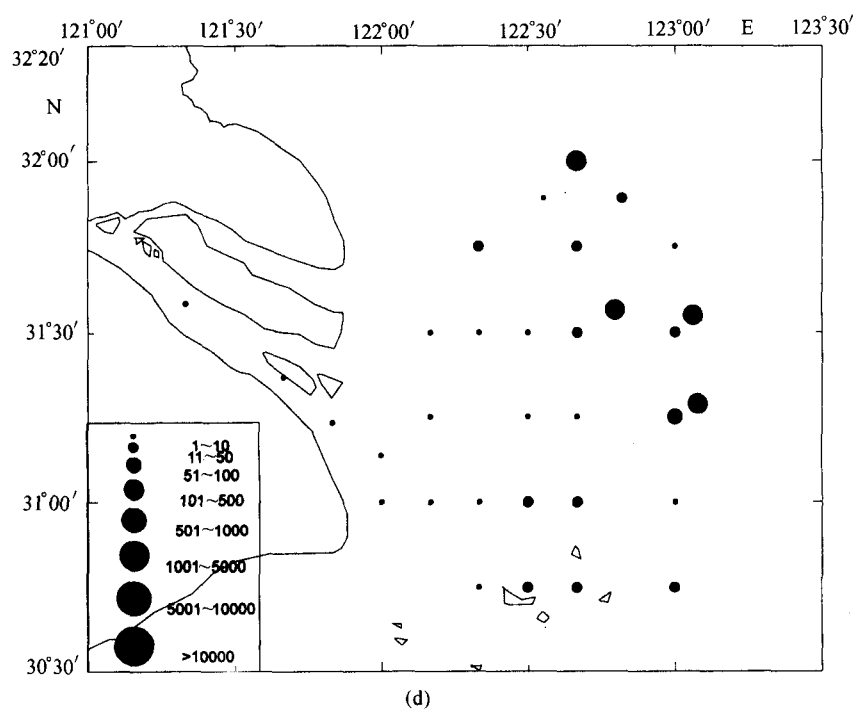
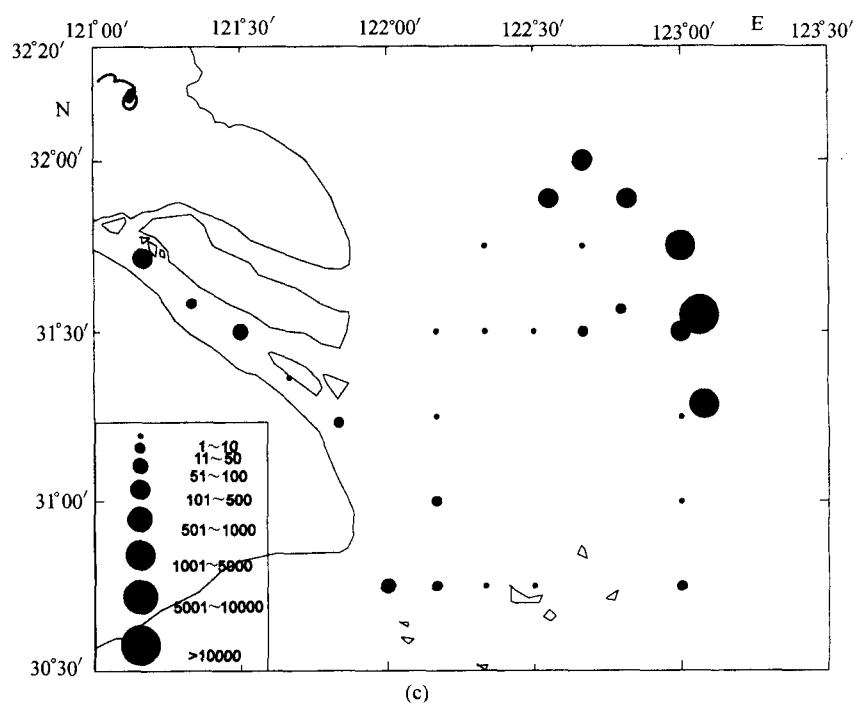
对不同取样方式所获得的鱼类浮游生物网获量资料进行 Kolmogoron-Smirnov 统计检验,结果表明,水平网取得的鱼卵在长江口门内、外邻近水域的鱼卵分布比较均匀,在 122°30′ 两侧鱼卵分布差异不显著($p < 0.025$,图 2a);仔、稚鱼分布在口门内与近河口区数量($n = 21, m = 30$)明显较外海水域低($n = 16, m = 2483$),但两者差异也不显著($p < 0.10$,图 2c)。从水平方向的动力学过程研究鱼类浮游生物的平面分布规律,可见河口区垂直断面存在两个主要类群:(1)随淡水径流顺流而下的淡水种类,多见于口门内取样站;(2)海洋生活的鱼类在河口区完成生殖活动,其补充群体随个体发育,顺流向外海扩散,与相邻水域的补充群体结合,形成该水域较高密度的鱼类浮游生物。因此,该水域鱼类浮游生物平面分布存在一定差异($p > 0.10$,图 2e)。据垂直网资料可知长江口内、外水域鱼卵分布存在明显差异($p > 0.10$,图 2b),但仔、稚鱼(图 2d)和鱼类浮游生物(图 2f)的分布在 0.05 水平上没有显著差异。



(a)



(b)



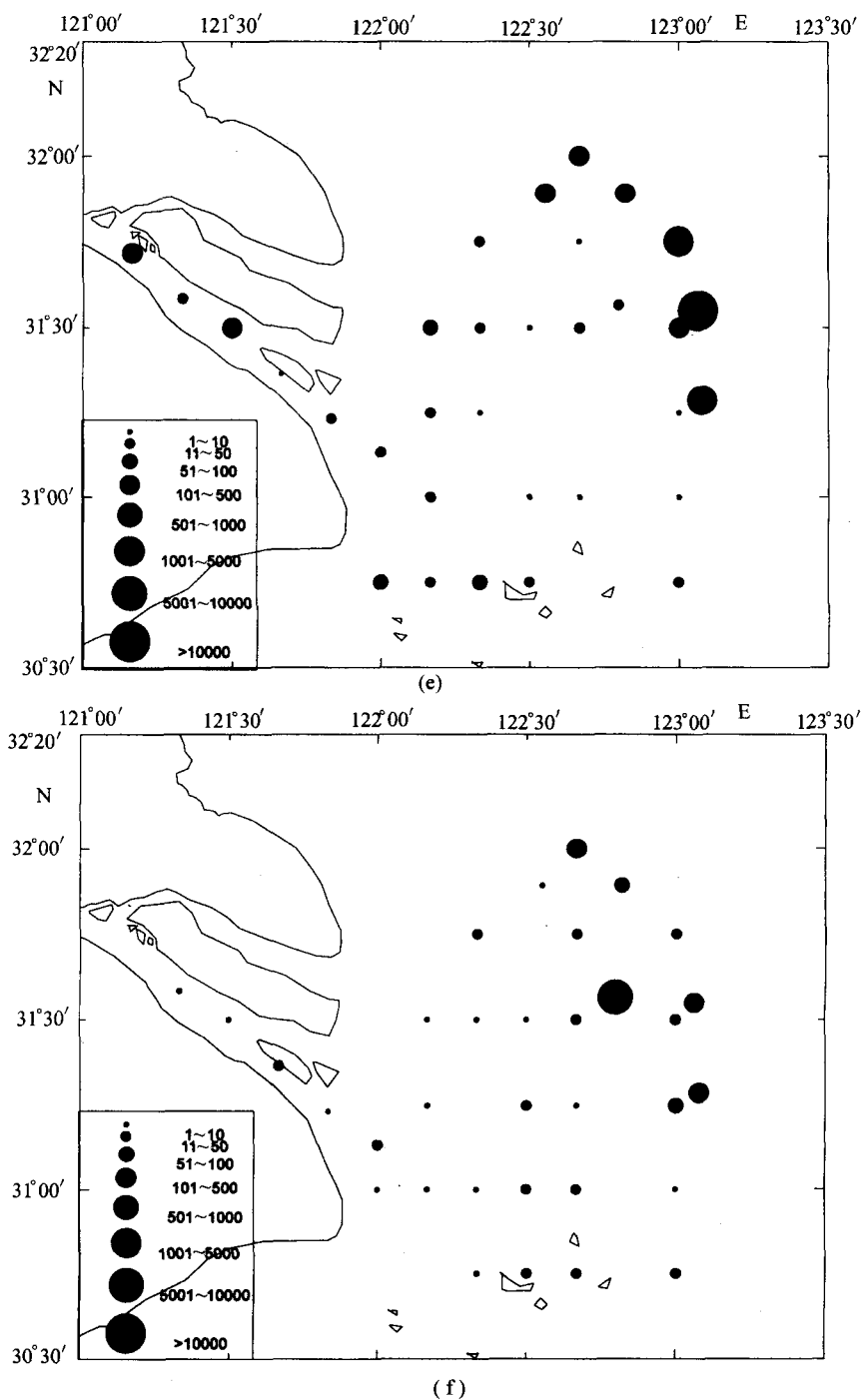


图 2 长江口春季鱼类浮游生物的空间分布

a. 水平网鱼卵; b. 垂直网鱼卵; c. 水平网仔稚鱼; d. 垂直网仔稚鱼; e. 水平网鱼类浮游生物;
f. 垂直网鱼类浮游生物(单位: 个体数/网)

4. 优势种结构

根据相对重要性指数的分析(表2),无论是水平网,还是垂直网鲢样品数量均超过90%,*IRI*为8057.71,成为春季绝对优势种;其次是六丝矛尾鰕虎鱼,数量比例均大于1%,共同构成优势种成分。取 $IRI > 10$,可见凤鲚、前颌间银鱼、鲮和小黄鱼为常见种,这四种鱼与鲢和六丝矛尾鰕虎鱼都成为当前鱼类浮游生物群落的重要成分。

表2 垂直与水平表面水体中鱼类浮游生物数量结构

种名	水平网		垂直网		<i>F</i> (%)	<i>IRI</i>
	个数	比例(%)	个数	比例(%)		
鲢	7102	95.53	12841	90.80	43.24	8057.71
凤鲚	33	0.44	86	0.61	17.57	18.48
前颌间银鱼	40	0.54	217	1.53	5.41	11.20
鲤科	1	0.01	214	1.51	6.76	10.32
须鲮属	1	0.01	—	—	1.35	0.02
鲮	5	0.07	195	1.38	20.27	29.31
大黄鱼	16	0.22	69	0.49	12.16	8.55
小黄鱼	33	0.44	70	0.50	20.27	19.03
鲷科	1	0.01	8	0.06	4.05	0.28
鲈	1	0.01	2	0.01	4.05	0.11
银鲈	25	0.34	6	0.04	21.62	8.19
竿鰕虎鱼	18	0.24	2	0.01	8.11	2.08
六丝矛尾鰕虎鱼	137	1.84	346	2.45	29.73	127.53
褐菖鲈	—	—	2	0.01	1.35	0.02
鲮	3	0.04	6	0.04	6.76	0.56
单鳍鲮	4	0.05	59	0.42	10.81	5.09
短吻红舌鲮	14	0.19	17	0.12	18.92	5.84
鲮科	—	—	2	0.01	1.35	0.02

三、讨论与结语

1. 鱼类浮游生物群落结构

长江口海域作为多种鱼类的产卵场和育幼场,其鱼类浮游生物群落结构是河口及邻近水域渔业补充的重要来源之一;而补充量的丰富程度则取决于多种复杂因素的综合作用(Joyeux,1998)。据1985~1986年周年调查资料显示,该水域鱼类浮游生物群落由淡水鱼类、半咸水鱼类和沿岸、近海鱼类四种生境类型组成,并划分为暖温性、暖水性和冷温性3类区系成分,共有53科82属94种(杨东莱等,1990)。春季是多种鱼类繁殖旺季,1986年5月拖获的鱼卵仔鱼种数有30种,隶属于18科,鱼卵数量最多可占全年的75%(杨东莱等,1990)。本次调查共拖获鱼卵仔鱼20种,其中包括淡水鲤科的3个种,隶属于16科。从1986年至1999年10年间鱼类浮游生物种数明显减少,但仍有须鲮科、六丝矛尾鰕虎鱼、单鳍鲮和褐菖鲈等没有出现在1985~1986年的资料中。

2. 鱼类浮游生物生态类型与河口环境

(1) 淡水型鱼类 多局限于长江口门内及入海口。1986年共发现4种淡水类型,

其出现月份在6~8月;而本次调查仅发现3个鲤科淡水种,其出现月份提前,在口门内第35~39号站之间,仔、稚鱼数量分布有逐渐减少的趋势,说明该类型鱼类浮游生物随盐度升高而减少。

(2) 半咸水型鱼类 除鰕虎鱼类适应温盐范围较广外,多数鱼类早期阶段适盐范围为0.12~12.0,水温范围为12.0~22.0℃。1986年5月发现11个半咸水种,1999年5月发现7个半咸水种。其中凤鲚分布区的盐度为2.0~18.0,前颌间银鱼偏向的盐度分布区为15.7~29.0,梭鱼则跨低、中、高3个盐度范围。

(3) 沿岸型鱼类 多为春夏季洄游到沿岸浅水进行索饵、繁殖发育和生长,冬季回到外海越冬的种类。小黄鱼早期阶段出现于温度为16.0~20.0℃和盐度为21.0~33.0的海区,产卵场的盐度范围为24.0~33.0;大黄鱼的鱼卵、仔鱼的分布盐度均为高于21.0水域。该鱼类浮游生物主要来自河口及其岛礁水域,并随长江口水系物理输送,随波逐流。到成鱼阶段,具有明显的季节洄游特征。

(4) 近海型鱼类 多在离岸较远、水深大于30m的海区索饵、繁殖、发育和生长,包括大洋性和深海洄游鱼类。1999年春季发现的种类只为1986年的50%,但此种类早期阶段适应温、盐范围较宽,水温一般在14.0~30.0℃,盐度为15.0~34.0,以水温16.0~22.0℃、盐度24.0~33.0海区出现鱼卵、仔鱼数量最多,如鳀的产卵场盐度范围较窄,但其鱼卵和仔、稚鱼的适盐分布范围很广。受长江径流的影响,鳀鱼卵和仔、稚鱼的高密度缀块出现于123°30'以外、水深>30m的第2、7、13、41、43、44、45号站间,说明该类型鱼种补充群体生态分布对透明度要求较高的特点(阮洪超,1984;杨东莱等,1990)。

3. 鱼类浮游生物群落结构与生态因子的关系

河口水域鱼类浮游生物群落结构受制于诸多因子的影响,归结起来可分为非生物和生物因子两大类。非生物因子主要指水文物理及化学因子,如盐度、水温、径流量、透明度、潮汐水文锋面、潮流方向和深度、入海口形状、溶解氧、风速、风压、风混合、海平面气压等;生物因子主要包括产卵种群大小、个体发育阶段及其对环境适应能力、饵料生物量基础等。Rakocinski等(1996)发现水温、溶氧、盐度等物理梯度与鱼类浮游生物群落结构变化密切相关,导致时空格局的异质性。Blaber等(1997)在研究Sarawak和Sabah河口的鱼类浮游生物多样性时,发现由于恶劣的物理条件,如高浊度、流速等,导致该两河口的多样性要比其他热带河口低很多。Grioche等(1997)认为,鱼类浮游生物在育幼场的转运过程、健康发育及其对生物环境的适应性,是调控种群年资源补充量的关键因子。尽管河口水域鱼类浮游生物群落总是处于持续调节中,以适应瞬息万变的生态环境,但它又呈现出潜在的稳定性,即变化趋势的可预测性(Whitfield,1999)。综合同期搜集的生态环境观测实验资料,考虑表层温度和盐度、底层温度和盐度、透明度、表层和底层溶解氧、初级生产力、浮游植物和浮游动物生物量等环境因子,从而分析它们与鱼类浮游生物数量分布的相互关系。

在水平网样品中,鱼卵的分布与表层水温成负相关($n=35$, $r=-0.4297$, $p<0.05$),而仔、稚鱼与表层溶解氧成弱正相关($n=35$, $r=0.3127$, $p=0.067$),与初级生产力成显著正相关($r=0.6794$, $p<0.001$)。从初级生产力与透明度($r=0.3852$)、溶解氧($r=0.7516$)、浮游植物($r=0.4078$)和浮游动物($r=0.5586$)间的相关关系可见,以悬浮

性补充群体为主的鱼类浮游生物群落结构与生态环境因子间的依存关系(表3),在氧源补充丰富的海气界面,温度是鱼类浮游生物发育生长的直接控制因子之一(朱鑫华等,1999)。表4列出垂直网样品中鱼类浮游生物与生态环境因素间的相关关系。在底层水体中,鱼类浮游生物群落与所列非生物环境因素间相关关系均不显著,而与初级生产力($r=0.7392$)、浮游植物($r=0.7143$)和浮游动物($r=0.6893$)生物量间成显著正相关。由此可见,底层食物保证对鱼类浮游生物的发育与生长具有促进作用,从而成为群落发展的控制因素,这与黄、渤海沿岸水域游泳生物群落的时空格局异质性研究结果一致(朱鑫华等,1994b)。

表3 水平网鱼类浮游生物与生态环境因素间的相关关系

项目	r p	仔稚鱼	鱼类 浮游 生物	表层 温度 ($^{\circ}\text{C}$)	表层 盐度	透明度	表层 溶解氧	初级 生产力	浮游 植物	浮游 动物
鱼卵	0.492	-0.1200	-0.1097	-0.4297	0.2146	-0.1163	-0.2803	-0.2593	-0.0345	0.0432
仔稚鱼	0.530	0.000	0.9999	0.0741	-0.0261	0.2640	0.3127	0.6794	-0.0094	0.1058
鱼类浮游生物	0.010	0.672	0.690	0.0698	-0.0239	0.2631	0.3102	0.6776	-0.0097	0.1064
表层温度	0.216	0.882	0.892	0.000	-0.5777	-0.0845	-0.0159	0.1413	0.0959	-0.1274
表层盐度	0.506	0.125	0.127	0.629	0.006	0.4576	0.2085	0.1273	-0.0341	0.3296
透明度	0.103	0.067	0.070	0.928	0.229	0.008	0.4410	0.3852	-0.1650	0.1114
表层溶解氧	0.133	0.000	0.000	0.418	0.466	0.022	0.000	0.7516	0.3644	0.5245
初级生产力	0.844	0.957	0.956	0.584	0.846	0.343	0.031	0.015	0.4078	0.5586
浮游植物	0.805	0.545	0.543	0.466	0.053	0.524	0.001	0.000	0.000	0.7729

注: r 为Pearson相关系数, p 为差异显著性水平(下同)

表4 垂直网鱼类浮游生物与生态环境因素间的相关关系

项目	r p	仔稚鱼	鱼类 浮游 生物	底层 温度 ($^{\circ}\text{C}$)	底层 盐度	透明度	底层 溶解氧	初级 生产力	浮游 植物	浮游 动物
鱼卵	0.019	0.3956	0.5187	-0.2001	0.2204	-0.0854	-0.0611	0.3809	0.5113	0.4702
仔稚鱼	0.001	0.000	0.9904	-0.2724	0.2753	0.2115	0.0332	0.7325	0.6847	0.6645
鱼类浮游生物	0.249	0.113	0.099	-0.2837	0.2894	0.1840	0.0217	0.7392	0.7143	0.6893
底层温度	0.203	0.109	0.092	0.000	-0.685	-0.2508	0.3047	-0.3643	-0.2001	-0.5332
底层盐度	0.626	0.223	0.290	0.146	0.020	0.3916	-0.5992	0.4503	0.1754	0.5853
透明度	0.727	0.850	0.902	0.075	0.000	0.000	-0.6003	0.3852	-0.1650	0.1114
底层溶解氧	0.024	0.000	0.000	0.031	0.007	0.022	0.490	-0.1207	-0.0197	-0.3090
初级生产力	0.002	0.000	0.000	0.249	0.314	0.343	0.911	0.015	0.4078	0.5586
浮游植物	0.004	0.000	0.000	0.001	0.000	0.524	0.071	0.000	0.000	0.7729

参 考 文 献

- 朱鑫华、王云峰、刘栋, 1999, 温度对褐牙鲈资源补充生态学特征的影响, 海洋与湖沼, 30(5): 477~485。
- 朱鑫华、吴鹤洲、徐凤山等, 1994a, 黄、渤海沿岸水域游泳动物群落结构时空格局异质性研究, 动物学报, 40(3): 241~252。
- 朱鑫华、吴鹤洲、徐凤山等, 1994b, 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, 16(3): 102~112。
- 朱鑫华、杨纪明、唐启升, 1996, 渤海鱼类群落结构特征的研究, 海洋与湖沼, 27(1): 6~13。
- 阮洪超, 1984, 鲢卵子和仔稚鱼的形态发育及其在黄海、渤海的分布, 海洋科学集刊, 22: 29~60。
- 杨东莱、吴光宗、孙继仁, 1990, 长江口及其邻近海区的浮性鱼卵和仔稚鱼的生态研究, 海洋与湖沼, 21(4): 346~355。
- 杨伟祥、罗秉征、卢继武等, 1992, 长江口区鱼类资源调查与研究, 海洋科学集刊, 33: 281~302。
- 沙学绅, 1962, 大黄鱼 *Pseudosciaena crocea* (R.) 卵子和仔、稚鱼的形态特征, 海洋科学集刊, 2: 30~43。
- 罗秉征、沈焕庭等, 1994, 三峡工程与河口生态环境, 科学出版社, 224~238。
- 赵保仁、乐肯堂、朱兰部, 1992, 长江口海域温、盐度分布的基本特征和上升流现象, 海洋科学集刊, 33: 15~26。
- Blaber, S. J. M., Farmer, M. J., Milton, D. A., et al., 1997, The ichthyoplankton of selected estuaries in Sarawak and Sabah: composition, distribution, and habitat affinities, *Estu. Coast. Shelf Sci.*, 45: 197~208。
- Grieco, A. and Koubbi, P., 1997, A preliminary study of the influence of a coastal frontal structure on ichthyoplankton assemblages in the English Channel, *ICES J. Mar. Sci.*, 54: 93~104。
- Joyeux, J. C., 1998, Spatial and temporal entry patterns of fish larvae into North Carolina estuaries: comparisons among one pelagic and two demersal species, *Estu. Coast. Shelf Sci.*, 47: 731~752。
- Pianka, E. R., 1971, Ecology of the Agamid lizard *amphibolurus isolepis* in western Australia, *Copeia*, 527~536。
- Rakocinski, C. F., Lyczkowski-Shultz, J., and Richardson, S. L., 1996, Ichthyoplankton assemblage structure in Mississippi Sound as revealed by canonical correspondence analysis, *Estu. Coast. Shelf Sci.*, 43: 237~257。
- Whitfield, A. K., 1999, Ichthyofaunal assemblages in estuaries: A South African case study, *Rev. Fish Biol. Fish.*, 9: 151~186。

RELATIONSHIP BETWEEN COMMUNITY STRUCTURE OF ICHTHYOPLANKTON AND ENVIRONMENTAL FACTORS IN THE ESTUARY OF CHANGJIANG RIVER IN SPRING *

Zhu Xinhua, Liu Dong, Sha Xueshen

(Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences)

ABSTRACT

The analyses of data, obtained in comprehensive surveys on the fisheries ecology and oceanography in the Changjiang River estuary May, 1999 indicated that the ichthyoplankton community structure and its spatiotemporal dynamics could be related to the construction of the Three-Gorge Dam in the upstream and the recruitment mechanism of commercial fisheries in the waters. It was showed that hydro-physical conditions in the Changjiang River Estuary are complicated with great variation in salinity and transparency. Under this *variable environment*, sixteen families and 20 species of ichthyoplankton were recorded with 6644 eggs and 14932 larvae in the samples. In both the vertical and surface sampling, the number of *Engraulis japonicus* was dominated, comprising 95.53% in the vertical water body, and 90.80% in the surface; the second was *Chaeturichthys hexanema*; and the third was *Chaeturichthys hexanema* and *Hemisanx prognathus* *Liza haematocheila*. was the second and third in vertical waterbody; and in the surface water body, the second and third were *Chaeturichthys hexanema* and *Coilia mystus*. With regard to the index of relative importance (IRI), *Engraulis japonicus* was absolutely dominant component; *Chaeturichthys hexanema* were dominant components, with IRI of more than 100 4 regular components with IRI of 10-100 were *Coilia mystus*, *Hemisanx prognathus*, *Liza haematocheila* and *Pseudosciaena polyactis*. Surface temperature significantly affected egg survival and occurrence in horizontal samples; the obviously close relation of zooplankton biomass to larvae development in the vertical samples could indicate the direct impact from the hydroelectric facility in the upstream Changjiang River on the developmental enviroment in the ecosystem.

* Contribution No. 4115 from the Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences.