

东海生态系统中鱼卵、仔稚鱼种类组成、 数量分布及其与环境因素的关系

万瑞景^{1*}, 曾定勇², 卞晓东¹, 倪晓波²

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所,农业部海洋渔业可持续发展重点实验室,
山东省渔业资源与生态环境重点实验室,山东 青岛 266071;

2. 国家海洋局第二海洋研究所,卫星海洋环境动力学国家重点实验室,浙江 杭州 310012)

摘要: 为了解当前东海生态系统中鱼卵、仔稚鱼种类组成和数量分布的现状及其变化与物理环境因素的关系,根据2006年11月—2008年6月5个航次的鱼卵、仔稚鱼和物理环境调查资料,对鱼卵、仔稚鱼种类组成、数量分布与产卵场物理环境进行分析,探讨不同季节、不同年份鱼卵、仔稚鱼种类组成和数量分布的变化及其与物理环境的关系。结果显示,5个航次采集到74 813粒鱼卵、16 826尾仔稚鱼,共有135个种类。其中,鉴定到种的有109种,隶属于15目67科99属,还有17个种类仅能鉴定到属、6个种类仅能鉴定到科和3个种类仅能鉴定到目。2006年—2007年秋季、冬季和春季鱼卵、仔稚鱼的种类和数量随着季节变化逐渐增多;2008年春季的种类和数量较2007年春季明显偏少;2008年初夏种类的数量与2008年春季基本相近,但鱼卵的数量明显增多,仔稚鱼的数量基本相近。42种优势种类、重要种类和主要种类构成当前东海生态系统中鱼卵、仔稚鱼种类组成的主要成分。东海表层水温和盐度分布有显著的季节变化。秋、冬季表层水温锋面强度最强,春季次之,初夏最弱;锋面的位置秋季离岸最近,冬季次之,春季和初夏离岸最远,冬季偏南,初夏季节北移。表层盐度锋面主要分布在近岸区域,与岸线大致平行,其强度冬季最强,春、秋季次之,初夏季节最弱。秋、冬季节陆架深水海域的水温较沿岸海域高,鱼类生殖群体在陆架深水高温区产卵;春季和初夏季节沿岸海域明显升温,鱼类生殖群体由深水向近岸海域进行生殖洄游,产卵场分布由陆架中部向近岸海域扩展,并在近岸海域形成了中心产卵场。鱼卵和仔稚鱼的分布与温、盐锋面和种类的温、盐属性的关系密切,主要分布在温度锋面暖水一侧,并有各自最适宜的温度和盐度范围。水温、盐度与种类的繁殖生物学特性是导致鱼卵和仔稚鱼种类组成与数量发生变化的主要因素;适宜的温度和盐度范围、锋区的辐聚和卷夹作用以及种类的生物学属性是影响鱼卵和仔稚鱼数量分布以及密集分布区形成的主要因素。

关键词: 鱼卵; 仔稚鱼; 种类组成; 数量分布; 产卵场; 温度; 盐度; 锋面; 东海

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

东海是西北太平洋边缘的陆架海域,面积 $77 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中陆架区面积 $57.29 \times 10^4 \text{ km}^2$,平均水深370 m,是一个开放、岛屿多、海底平坦、底质以泥沙为主的陆缘海域,也是沿海上升流较多的海区^[1]。东海地理环境的区域特点显著,西有长江等河流携入大量的陆源物质,东南受黑潮

暖流的强烈影响,同时又承受东亚季风的交替作用,是集大河—海洋、边缘海—大洋西边界强流、大气—海洋等相互作用于一体而形成独特环流结构的海域。东海特殊的环境条件导致了显著的生物学特征,生物多样性丰富、优势种明显、食物网结构复杂、生物资源蕴藏量大,是中国主要经济鱼

收稿日期:2014-05-04 修回日期:2014-06-27

资助项目:国家自然科学基金(31272667);国家重点基础研究发展规划(2011CB409800,2011CB403605);全球变化研究重大科学研究计划(2010CB951204)

通信作者:万瑞景,E-mail:wanjrj@ysfri.ac.cn

虾类产卵、索饵和越冬栖息的场所^[2]。

近年来,全球气候变化加剧,捕捞压力逐年增加,渔业资源严重衰退,生物种类更替频繁。在生态系统自身演替规律、环境变化及人类活动的共同作用下,长江口及其邻近海域的渔业生物种类更替加快。经济价值低、个体小、年龄结构简单和营养层次低的类群居优势地位,鱼类群落结构发生了较大的变化^[3-4];尤其是长江三峡工程与南水北调计划将调整长江入海径流量及其季节分配格局。由于长江输入东海的泥沙量明显降低、长江口及其邻近海域的水文、水化学和沉积等非生物环境和初级生产力、浮游植物、浮游动物和底栖生物等生物环境发生了变化^[5-9],并制约了生物群体的变迁和鱼群的行动^[10],不可避免地对河口及其邻近海域鱼类产卵场的分布和鱼卵、仔稚鱼种类组成、时空分布产生影响^[11],而鱼卵、仔稚鱼的发育生长和数量是鱼类资源补充和渔业生物资源可持续利用的基础^[12],其数量分布和变化对维持海洋生态系统的平衡具有重要意义。因此,鱼类产卵场和鱼卵、仔稚鱼分布的变化将对东海的渔业生物资源补充、生物地球化学循环与生态系统产生影响。

尽管已有研究初步分析了东海包括长江口及其邻近海域鱼卵、仔稚鱼种类组成以及数量分布对气候变迁与人为扰动的响应^[11,13-18],然而,生态系统对环境变化与人为扰动的响应过程是潜在和缓慢的^[10]。因此,有必要对东海包括长江口及其邻近海域进行长期的观测与研究^[19]。

在当前严峻的海洋渔业资源与生态环境背景下,为了认识秋、冬季节黑潮表层水、次表层水和中层水在东海陆架的涌升对东海营养物质生物地球化学循环的影响、陆架与黑潮区域的物质交换对东海生源要素更新的控制作用以及春季东海近

岸产卵场分布及其物理、化学和生物学特点,分析区域的水文和其他环境特点对产卵场的形成和仔稚鱼发育、生长的影响、刻画东海生物地球化学(支撑功能)与动力学(调节功能)之间的耦合对春季产卵场形成与分布的影响,于2006年11月—2008年6月对东海(包括长江口海域)进行了5个航次的调查,获取了秋季、冬季、春季和初夏季节产卵场分布及其物理、化学和生物学的背景场以及时空变化的现场资料。本研究根据上述的调查资料,揭示当前东海海域鱼卵、仔稚鱼种类组成和数量分布的现状,探讨鱼卵、仔稚鱼种类组成和数量分布的变化、产卵场的形成与分布及其与物理环境因素的关系,以期为长期观察和系统研究气候变迁与人为扰动对东海生态系统的结构与功能的影响积累基础资料。

1 材料与方 法

1.1 资料来源

2006年11月—2008年6月“北斗”号海洋生物资源调查船对东海(包括长江口海域)进行了5个航次的综合调查(表1)。由于调查季节的不同,调查的侧重点也有所不同,秋、冬季节为东海硬骨鱼类的产卵末期,海上调查侧重于黑潮表层水、次表层水和中层水在东海陆架的涌升对东海营养物质生物地球化学循环的影响以及陆架与黑潮区域的物质交换对东海生源要素更新的控制作用;春季和初夏季节为东海硬骨鱼类产卵的主要季节,海上调查侧重于近岸产卵场分布及其物理、化学和生物学特点,分析区域的水文和其他环境特点对产卵场的形成和仔稚鱼发育、生长的影响。因此,秋、冬季与春季和初夏的调查范围和站位略有区别(图1)。

表 1 调查概况

Tab. 1 Survey brief situations

调查航次 survey voyage	调查季节 survey season	调查时间 survey time	调查范围 survey area	调查断面 survey transects	调查站位 sampling stations
No. 1	秋季 autumn	2006-11-26—12-13 26 Nov - 13 Dec 2006	120°08' ~ 126°30'E 25°30' ~ 30°50'N	6	20
No. 2	冬季 winter	2007-02-24—03-10 24 Feb - 10 Mar 2007	120°08' ~ 126°30'E 25°30' ~ 30°50'N	6	24
No. 3	春季 spring	2007-05-07—05-14 7 - 14 May 2007	120°50' ~ 124°05'E 26°50' ~ 32°08'N	7	32
No. 4	春季 spring	2008-05-12—05-18 12 - 18 May 2008	120°50' ~ 124°05'E 26°50' ~ 32°08'N	7	34
No. 5	初夏 early summer	2008-06-13—06-21 13 - 21 June 2008	120°50' ~ 124°05'E 26°50' ~ 32°08'N	7	33

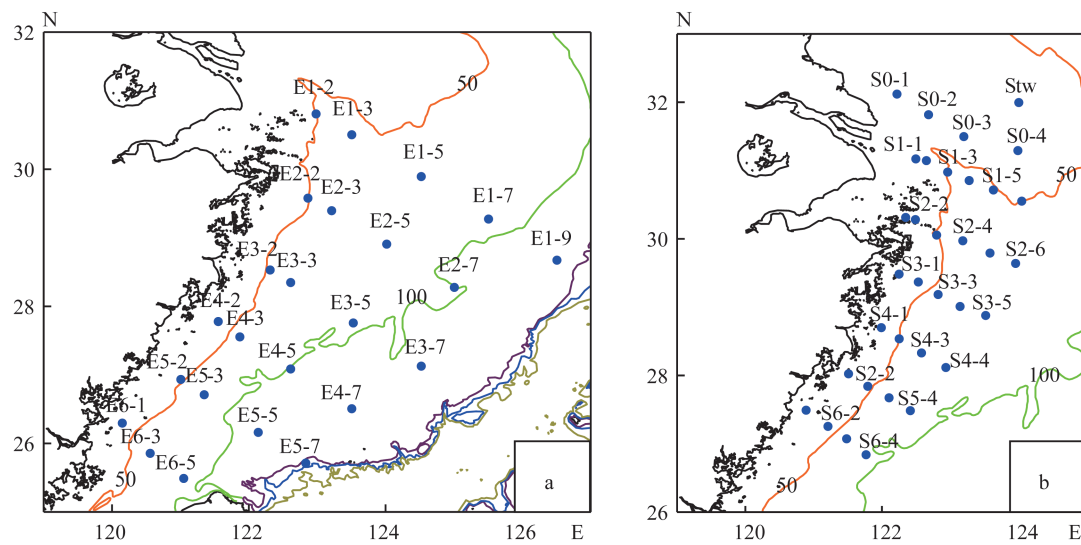


图1 东海鱼卵、仔稚鱼调查站位

(a) 2006年11月—12月和2007年2月—3月; (b) 2007年5月, 2008年5月和2008年6月

Fig. 1 Sampling stations of ichthyoplankton in the East China Sea

(a) Nov - Dec 2006 and Feb - Mar 2007; (b) May 2007, May 2008 and June 2008

鱼卵、仔稚鱼种类组成和数量及其与环境因素的关系为调查的重要内容之一。鱼卵和仔稚鱼样品采集采用孔径为 0.505 mm 筛绢 (38 GG) 制成的网口内径为 80 cm、网长为 270 cm 的大型浮游生物网, 逐站进行表层水平拖网取样, 每站拖网时间 10 min, 拖网速度 3.0 nmile/h, 采集的样品用 5% 甲醛海水溶液现场固定保存。室内进行定性和定量分析。样品定量分析时, 由于海流、风浪等客观因素, 水平拖网速度难以严格控制, 以每站的实际数量 (粒、尾) 为指标进行比较。

温度和盐度采用美国海鸟公司生产的 SeaBird 25 型 CTD 进行现场观测。

1.2 实验方法

运用相对重要性指数 (index of relative importance, IRI)^[20] 对鱼卵、仔稚鱼种类组成进行分析, 以确定优势种类 (dominant species)、重要种类 (important species) 和主要种类 (main species) 的成分。IRI 的计算公式如下^[11]:

$$IRI_i = \left(\frac{n_{Ei}}{N_E} + \frac{n_{Li}}{N_L} + \frac{n_{ei}}{N_e} + \frac{n_{li}}{N_l} \right) \times F_i \times 10\,000 \quad (1)$$

式(1)中, N_E 或 N_L 分别为每航次调查过程中仅出现鱼卵或仔稚鱼分布站位的鱼卵或仔稚鱼总量 (粒或尾); n_{Ei} 或 n_{Li} 分别为每航次调查过程中仅出现鱼卵或仔稚鱼分布站位的某个种类鱼卵或仔稚鱼的数量 (粒或尾); N_e 或 N_l 分别为每航次调查

过程中鱼卵和仔稚鱼都出现分布站位的鱼卵或仔稚鱼总量 (粒或尾); n_{ei} 或 n_{li} 分别为每航次调查过程中鱼卵和仔稚鱼都出现分布站位的某个种类鱼卵或仔稚鱼的数量 (粒或尾); F_i 为每航次调查过程中某个种类 (包括出现鱼卵、仔稚鱼以及鱼卵和仔稚鱼都出现) 的出现频率。

取 IRI 值大于 1 000 的种类为优势种; IRI 值为 100 ~ 1 000 的种类为重要种类; IRI 值为 10 ~ 100 的种类为主要种类^[11]。

采用 Surfer 8.0 软件绘制鱼卵、仔稚鱼数量、温度和盐度分布图。

2 结果

2.1 鱼卵、仔稚鱼种类组成及其变化

鱼卵、仔稚鱼种类组成与数量及其变化

5 个航次调查采集到 74 813 粒鱼卵和 16 826 尾仔稚鱼, 有 135 个种类。其中, 鉴定到种的有 109 种, 隶属于 15 目 67 科 99 属, 还有 17 个种类仅能鉴定到属、6 个种类仅能鉴定到科和 3 个种类仅能鉴定到目。135 种鱼卵、仔稚鱼中, 鱼卵种类 61 种、仔稚鱼种类 102 种、鱼卵和仔稚鱼都出现的种类 28 种 (表 2 和附表)。

2006 年秋季、2006 和 2007 年冬季和 2007 年春季, 鱼卵、仔稚鱼的种类和数量随着季节的变化依次逐渐增多。2008 年春季鱼卵的种类数量略

多于 2007 年春季而仔稚鱼种类数量显著少于 2007 年春季,因此,2008 年春季鱼卵、仔稚鱼种类数量较 2007 年春季明显偏少,其种类数量仅是 2007 年春季的 2/3。2008 年初夏鱼卵的种类数量较 2008 年春季明显偏少而仔稚鱼种类数量却明显增多,因而 2008 年初夏鱼卵、仔稚鱼种类数量与 2008 年春季基本相近。数量方面,2008 年春季鱼卵和仔稚鱼的数量显著少于 2007 年春

季,仅分别为 2007 年春季的 1/22 和 1/26;2008 年初夏鱼卵数量显著多于 2008 年春季(近 20 倍),而仔稚鱼数量略少于 2008 年春季(表 2)。可见,各航次的鱼卵、仔稚鱼种类组成和数量有明显的区别,尤其是 2007 年春季与 2008 年春季以及 2008 年春季与 2008 年初夏的鱼卵、仔稚鱼种类组成和数量发生了明显的变化。

表 2 东海鱼卵、仔稚鱼种类和数量

Tab. 2 Taxon and abundance of fish eggs and larvae in the East China Sea

调查航次 survey voyage	调查季节 survey season	鱼卵、仔稚鱼 种类/种 taxon of ichthyoplankton	鱼卵 fish eggs		仔稚鱼 fish larvae		鱼卵和仔稚鱼 都出现的种类/种 taxon of both fish eggs and larvae
			种类/种 taxon	数量/粒 abundance	种类/种 taxon	数量/尾 abundance	
No. 1	秋季 autumn	35	13	536	26	121	4
No. 2	冬季 winter	55	23	1 445	43	183	11
No. 3	春季 spring	70	29	37 735	55	15 397	14
No. 4	春季 spring	47	32	1 678	26	586	11
No. 5	初夏 early summer	46	23	33 419	32	539	9
合计 total		135	61	74 813	102	16 826	28

优势种类、重要种类和主要种类及其季节变化按照(1)式对每航次调查采集到的鱼卵、仔稚鱼的 IRI 值进行计算,得到各个种类的 IRI 值。表 3

列出了 IRI 值为 10 以上的 42 种优势种类、重要种类和主要种类,其鱼卵和仔稚鱼数量分别占调查采样鱼卵和仔稚鱼总量的 99.51% 和 98.87%。

表 3 各航次优势种类、重要种类和主要种类

Tab. 3 Dominant species, important species and main species of ichthyoplankton in each voyage

种类 taxon	调查航次 survey voyage									
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5	
	R	IRI	R	IRI	R	IRI	R	IRI	R	IRI
条尾绯鲤 <i>Upeneus bensasi</i>	1	2 674	7	420	6	31	14	33	13	85
带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	2	2 201	4	743			10	86		
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	3	1 944	11	80	1	15 848	1	11 276	1	4 308
花斑蛇鲻 <i>Saurida undosquamis</i>	4	760							15	64
花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>	5	627	14	56						
鲻 <i>Mugil cephalus</i>	6	564								
鰕齿鱼 <i>Champsodon capensis</i>	7	85	10	132						
少鳞鳢 <i>Sillago japonica</i>	8	68	23	12	5	36			6	753
绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys kumu</i>	9	38	6	521						
纹缟鰕虎鱼 <i>Tridentiger trigonocephalus</i>	10	17								
青斑鲷 <i>Crossorhombus azureus</i>	11	17								
绯鲷 <i>Callionymus beniteguri</i>	12	13			10	12	18	16		
蓝圆鲹 <i>Decapterus maruadsi</i>			1	3 642			7	198	2	1 937
鲈 <i>Scomber japonicus</i>			2	2 291	3	865	19	10		
角木叶鲷 <i>Pleuronichthys cornutus</i>			3	785						
鲷 <i>Coryphaena hippurus</i>			5	572			9	99	14	85
短吻三线舌鳎 <i>Cynoglossus abbreviatus</i>			8	233						
褐菖鲉 <i>Sebastiscus marmoratus</i>			9	168						
小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>			12	67			4	719		

续表 3

种类 taxon	调查航次 survey voyage									
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5	
	R	IRI	R	IRI	R	IRI	R	IRI	R	IRI
棱鲮 <i>Liza affinis</i>			13	58	2	4 396	3	942		
粗拟隆头鱼 <i>Pseudolabrus japonicus</i>			15	50						
矛尾复鰈虎鱼 <i>Synechogobius hasta</i>			16	50			12	67	12	131
翱翔飞鱼 <i>Exocoetus volitans</i>			17	38						
钝吻灯笼鱼 <i>Myctophum obtusirostris</i>			18	37						
虫鲈 <i>Eopsetta grigorjewi</i>			19	37						
细鳞鲷 <i>Therapon jarbua</i>			20	25						
短体银鲈 <i>Gerre abbreviatus</i>			21	25						
香鲷 <i>Callionymus olidus</i>			22	12						
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>			24	12	7	25	5	690	7	432
长条蛇鲻 <i>Saurida elongata</i>					4	345	13	44	3	1 403
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>					8	20	8	145	9	251
棘箱鲀 <i>Kentrocapros aculeatus</i>					9	19	11	82		
竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i>							2	2 208	11	133
日本鲷 <i>Uranoscopus japonicus</i>							6	366		
丝背细鳞鲀 <i>Stephanolepis cirrhifer</i>							15	33		
多鳞鱈 <i>Sillago sihama</i>							16	23	10	143
银鲱 <i>Pampus argenteus</i>							17	19		
六斑刺鲀 <i>Diodon holacanthus</i>									4	1 061
康氏小公鱼 <i>Stolephorus commersonii</i>									5	951
圆舵鲹 <i>Auxis rochei</i>									8	400
美肩鳃鲷 <i>Omobranchus elegans</i>									16	13
叫姑鱼 <i>Johnius grypotus</i>									17	10

注:R. 排列顺序

Notes:R. ranking

(1) 优势种类:2006 年秋季(第一航次)有条尾绯鲤、带鱼和鳀 3 个种类;2006 和 2007 年冬季(第二航次)有蓝圆鲷和鲈两个种类;2007 年春季(第三航次)有鳀和棱鲮两个种类、2008 年春季(第四航次)有鳀和竹筴鱼两个种类以及 2008 年初夏季节(第五航次)有鳀、蓝圆鲷、长条蛇鲻和六斑刺鲀 4 个种类。

(2) 重要种类:2006 年秋季有花斑蛇鲻、花鲈和鲷 3 个种类;2006 和 2007 年冬季有角木叶鲷、带鱼等 8 个种类;2007 年春季仅有鲈和长条蛇鲻两个种类、2008 年春季有棱鲮、小黄鱼等 6 个种类以及 2008 年初夏季节有康氏小公鱼、六斑刺鲀等 8 个种类。

(3) 主要种类:2006 年秋季有鳄齿鱼、少鳞鱈等 6 个种类;2006 和 2007 年冬季有鳀、小黄鱼等 12 个种类;2007 年春季有少鳞鱈、条尾绯鲤等 6 个种类、2008 年春季有鲷、带鱼等 11 个种类以及 2008 年初夏季节有条尾绯鲤、鲷等 5 个种类。

(4) IRI 值大小:2007 年春季和 2008 年春季的第一位优势种类的 IRI 值分别高达 15 848 和 11 276,而其他 3 个航次的 IRI 值仅分别为 2 674、3 642 和 4 308。2007 年春季第一位优势种类的 IRI 值较 2008 年春季的高出 4 572,所高出的部分甚至为其他 3 个航次的 1.0~1.7 倍。

2.2 鱼卵、仔稚鱼数量及分布

鱼卵数量及分布 2006 年 11 月—12 月(第一航次)调查正值秋末初冬季节,为东海硬骨鱼类的产卵末期,调查期间共采集到 13 种、536 粒鱼卵,鱼卵的出现频率为 55.00%,调查范围内鱼卵的平均密度为 26.8 粒/站(表 2 和表 4)。鱼卵主要分布于三、四和五断面 50 m 等深线以外的海域,形成了平均密度为 66.6 粒/站的相对密集分布区,鱼卵种类 12 种,以花斑蛇鲻和鲷为主,其次为条尾绯鲤和带鱼,花鲈、大头狗母鱼等 8 个种类的数量较少;一、二和六断面仅分别出现零星的带鱼和蛇鳎(*Ophichthus* sp. 1)鱼卵分布(图 2-a)。

表4 东海鱼卵、仔稚鱼种类和数量
Tab.4 Taxon and abundance of fish eggs and larvae in the East China Sea

调查航次 survey voyage	鱼卵 fish eggs			仔稚鱼 fish larvae		
	种类 taxon	平均密度/(粒/站) average density	出现频率/% frequency	种类 taxon	平均密度/(尾/站) average density	出现频率/% frequency
No. 1	13	26.8	55.00	26	6.1	60.00
No. 2	23	60.2	79.16	43	7.6	87.50
No. 3	29	1 179.2	84.38	55	481.2	84.38
No. 4	32	49.4	76.47	26	17.2	88.24
No. 5	23	1 012.7	100.00	32	16.3	69.70

2007年2月—3月(第二航次)调查正值冬末初春季节,东海硬骨鱼类开始进行产卵繁殖(产卵初期),调查期间共采集到23种、1 445粒鱼卵,鱼卵的出现频率为79.16%,调查范围内鱼卵的平均密度为60.2粒/站(表2和表4)。鱼卵较为广泛地分布于整个调查海域,在一、二、三断面100 m等深线以内的站位以及四断面和五断面100 m等深线以外的E4-5、E4-7站和E5-5、E5-7站组成的这一广阔海域,形成了分布范围广、平均密度为89.3粒/站的分布区,鱼卵种类21种,以带鱼、鲷、蓝圆鲈和短吻三线舌鳎为主,其次为角木叶鲷、绿鳍鱼、小黄鱼等5个种类,多齿蛇鲻、短吻红舌鳎等11个种类的数量较少。其中,五断面的100 m等深线以外的E5-5和E5-7两站形成了分布范围较小、平均密度达426.5粒/站、以带鱼、鲷和蓝圆鲈为主的密集分布区。在六断面仅出现少量的小黄鱼、花斑蛇鲻、蓝圆鲈、鲷和短吻红舌鳎鱼卵分布(图2-b)。

2007年5月(第三航次)调查正值春末季节,东海硬骨鱼类进入产卵盛期,调查期间共采集到29种、37 734粒鱼卵,鱼卵的出现频率为84.38%,调查范围内鱼卵的平均密度为1 179.2粒/站(表2和表4)。鱼卵较为广泛地分布于整个调查海域,大致形成4个分布区。在0断面的S0-3站采集到32 487鱼卵,其数量占本航次鱼卵总量的86.09%,形成了分布范围较小的密集分布区,鱼卵种类3种,以鳀的数量占绝对优势,还有少量的绯鲷和短鳍红娘鱼;在六断面和七断面海域采集到4 525粒鱼卵,鱼卵数量占本航次鱼卵总量的12.00%,形成了第二个分布范围较大、平均密度为565.6粒/站的相对密集分布区,鱼卵种类20种(为本航次鱼卵种类数量的68.97%),以鳀的数量占优势,其次为竹筴鱼、棘箱鲀、少鳞

鳀、康氏小公鱼和带鱼,日本鳀、鲷等14个种类的数量较少;在一断面、二断面、三断面和四断面的50 m等深线以外的深水区共采集到632粒鱼卵,鱼卵数量仅占本航次鱼卵总量的1.67%,形成了第三个平均密度为63.2粒/站的分布区,鱼卵种类达17种,以棘箱鲀和短吻红舌鳎为主,其次为日本鳀、鳀、带鱼、鲷和叫姑鱼,鲷、多鳞鳀、小黄鱼、长条蛇鲻、竹筴鱼等11个种类的数量较少,而50 m等深线以内的浅水区仅采集到8种、38粒鱼卵,鱼卵的平均密度仅为3.8粒/站(图2-c)。

2008年5月(第四航次)调查也正值春末季节,东海硬骨鱼类进入产卵盛期,调查期间共采集到32种、1 678粒鱼卵,鱼卵的出现频率为76.47%,调查范围内鱼卵的平均密度为49.4粒/站(表2和表4)。鱼卵主要分布于30°N以南海域,在三断面和四断面共采集到1 244粒鱼卵,鱼卵数量占本航次鱼卵总量的74.14%,形成了分布范围较大、平均密度为113.1粒/站的相对密集分布区,鱼卵种类达26种(为本航次鱼卵种类数量的81.25%),以短吻红舌鳎和小黄鱼为主,其次为棘箱鲀、竹筴鱼、蓝圆鲈、带鱼、鲷和多鳞鳀、鳀、银鲳、黄鲫、黑鳃梅童鱼等18个种类的数量较少;在七断面采集到235粒鱼卵(占本航次鱼卵总量的14.00%),形成了第二个平均密度为58.8粒/站的相对密集分布区,鱼卵种类8种,以竹筴鱼和白姑鱼为主,其次为带鱼和鲷,康氏小公鱼、日本鳀、少鳞鳀和大头狗母鱼的数量较少;在五断面和六断面50 m等深线以外的深水区共采集到174粒鱼卵,形成了第三个平均密度为43.5粒/站的分布区,鱼卵种类11种,数量最多的竹筴鱼和花斑蛇鲻也仅分别为32粒和26粒,棘箱鲀、鲷、日本鳀、少鳞鳀、带鱼、小黄鱼等9

个种类的数量较少,而 50 m 等深线以内的浅水区仅采集到 4 种、共 4 粒鱼卵,鱼卵的平均密度仅为 1.0 粒/站;长江口外 50 m 等深线附近海域形成

了平均密度为 6.3 粒/站、以小黄鱼为主和少量的沙氏下鳊鱼、鲢和白姑鱼的分布区;此外,Stw 站也出现少量的短吻红舌鲷鱼卵分布(图 2-d)。

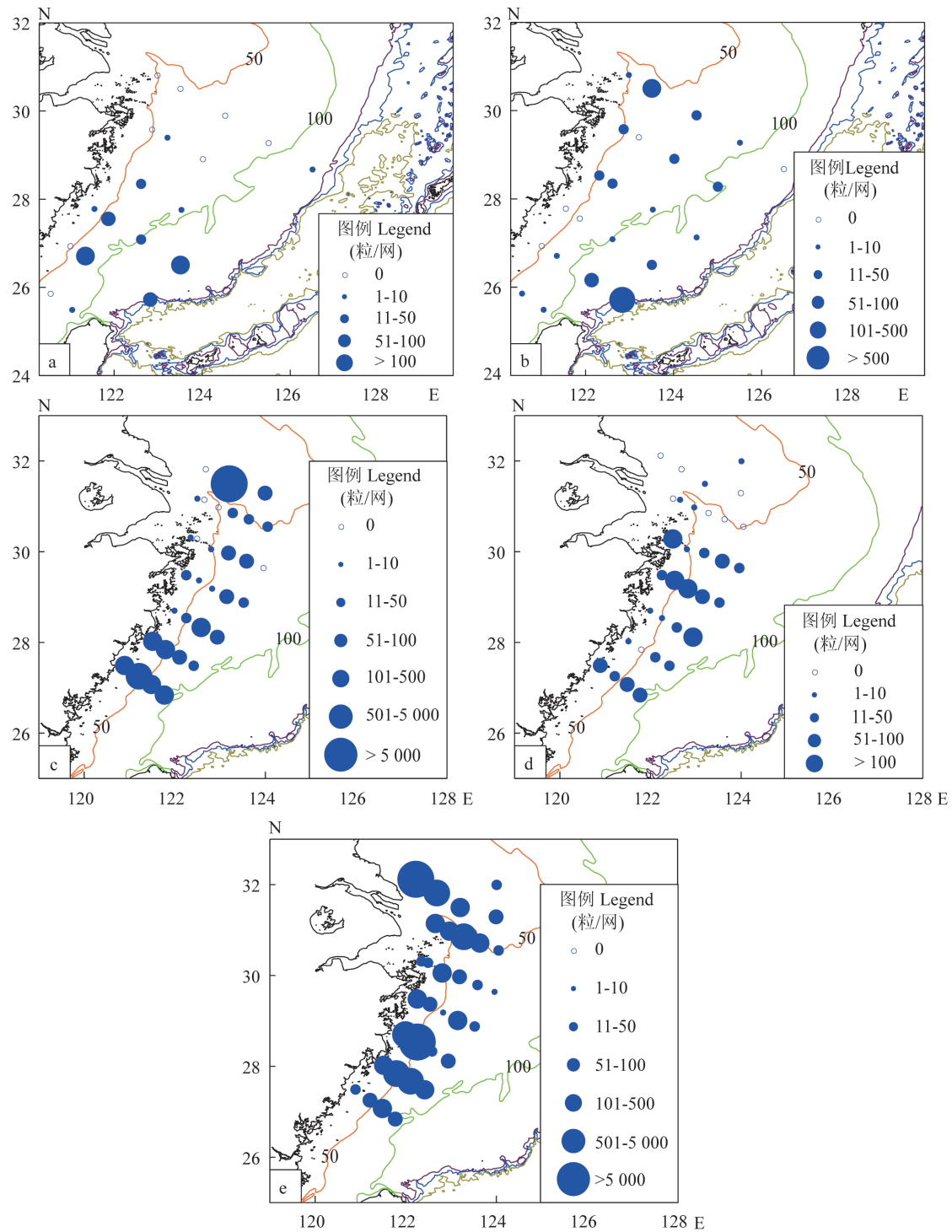


图 2 东海鱼卵数量分布

(a)2006 年 11 月—12 月; (b)2007 年 2 月—3 月; (c)2007 年 5 月; (d)2008 年 5 月; (e)2008 年 6 月

Fig.2 Fish egg abundance distribution in the East China Sea

(a) Nov – Dec 2006; (b) Feb – Mar 2007; (c) May 2007; (d) May 2008; (e) June 2008

2008年6月(第五航次)调查为初夏时节,东海硬骨鱼类正值产卵盛期,调查期间共采集到23种、33 419粒鱼卵,鱼卵的出现频率为100.00%,调查范围内鱼卵的平均密度为1 012.7粒/站(表2和表4)。鱼卵广泛分布于整个调查海域,大致形成4个分布区。0断面和一断面海域共采集到14 072粒鱼卵,鱼卵数量占本航次鱼卵42.11%,形成了平均密度为1 407.2粒/站的分布区,鱼卵种类11种,以康氏小公鱼和多鳞鱈为主,其次为短吻红舌鲷、叫姑鱼、鳀和白姑鱼,大头狗母鱼、长条蛇鲻、小黄鱼等5个种类的数量较少,其中S0-1站出现9 880粒康氏小公鱼、136粒白姑鱼和40粒短吻红舌鲷鱼卵,形成了鱼卵密度达10 056.0粒/站的密集分布中心;四断面和五断面海域共采集到18 081粒鱼卵,鱼卵数量占本航次鱼卵54.10%,形成了平均密度高达2 260.1粒/站的分布区,鱼卵种类15种,以蓝圆鲹的数量占绝对优势,其次为竹筴鱼、花斑蛇鲻、康氏小公鱼、少鳞鱈、短吻红舌鲷和六斑刺鲀,棘箱鲀、麒麟、小黄鱼等8个种类的数量较少,其中S4-2站采集到14 000粒蓝圆鲹、480粒花斑蛇鲻、220粒竹筴鱼、180粒康氏小公鱼以及少量的鳀、日本鳎和小黄鱼鱼卵,形成了鱼卵密度高达14 892.0粒/站的密集分布中心;二断面和三断面海域共采集到772粒鱼卵,鱼卵数量占本航次鱼卵总量的2.31%,形成了平均密度为70.2粒/站的分布区,鱼卵种类达17种,以鳀和竹筴鱼为主,其次为蓝圆鲹、少鳞鱈、白姑鱼、短吻红舌鲷和康氏小公鱼,日本鳎、小黄鱼等10个种类的数量较少;六断面海域共采集到494粒鱼卵,鱼卵数量占本航次鱼卵总量的1.48%,形成了平均密度为123.5粒/站的分布区,鱼卵种类7种,以花斑蛇鲻为主,其次为六斑刺鲀,蓝圆鲹、竹筴鱼、康氏小公鱼和少鳞鱈的数量较少(图2-e)。

仔稚鱼数量及分布 2006年11—12月(第一航次)调查期间共采集到26种、121尾仔稚鱼,仔稚鱼的出现频率为60.00%,调查范围内仔稚鱼的平均密度为6.1尾/站(表2和表4)。仔稚鱼分布很分散,大致形成3个分布区。一断面海域共采集到11尾仔稚鱼,形成了平均密度为2.2尾/站的分布区,仔稚鱼的种类7种,各个种类的数量都较少;六断面海域共采集到67尾仔稚鱼,形成了平均密度为22.3尾/站的分布区,仔稚

鱼种类达15种,以鳀和少鳞鱈的数量较多,绯鲷、绿鳍鱼、鹿斑鲷、小黄鱼、条尾绯鲤等13个种类的数量很少;四断面和五断面的100 m等深线以外的E4-5、E4-7和E5-7站共采集到42尾仔稚鱼,形成了平均密度为14.0尾/站的分布区,仔稚鱼种类8种,以鳀的数量较多,花鲈、条尾绯鲤、带鱼等7个种类的数量较少,此外,在二断面的E2-5站也出现1尾发光鲷稚鱼分布(图3-a)。

2007年2—3月(第二航次)调查期间共采集到43种、183尾仔稚鱼,仔稚鱼的出现频率为87.50%,调查范围内仔稚鱼的平均密度为7.6尾/站(表2和表4)。仔稚鱼较为广泛地分布于整个调查海域,大致形成2个分布区。在三、四、五断面以及六断面的E6-1和E6-2站这一广阔的海域共采集到144尾仔稚鱼,仔稚鱼的数量占本航次仔稚鱼总量的78.69%,形成了分布范围较大、平均密度为10.3尾/站的分布区,仔稚鱼的种类也比较多,达37种,以条尾绯鲤和蓝圆鲹的数量较多,其次为鲈、梭鲈、短体银鲈和褐菖鲉,绿鳍鱼、虫鲈、细鳞鲷等31个种类的数量较少,其中,五断面的E5-7站出现19种、69尾仔稚鱼分布,形成了仔稚鱼种类较多、密度相对较大的密集分布中心;在一断面和二断面50 m等深线以外的深水区共采集到37尾仔稚鱼(占本航次仔稚鱼总量的20.22%),形成了平均密度为6.2尾/站的分布区,仔稚鱼种类13种,以绿鳍鱼、花鲈和矛尾复虾虎鱼为主,角木叶鲈、蓝圆鲹、少鳞鱈等10个种类的数量较少;此外,二断面50 m等深线附近的E2-2站也出现2尾褐菖鲉稚鱼分布(图3-b)。

2007年5月(第三航次)调查期间共采集到55种、15 397尾仔稚鱼,仔稚鱼的出现频率为84.38%,调查范围内仔稚鱼的平均密度为481.2尾/站(表2和表4)。仔稚鱼较为广泛地分布于整个调查海域,大致形成4个分布区。在三断面的S2-1站出现13 044尾梭鲈、40尾矛尾复虾虎鱼、1尾鲷和1尾黄鲛仔稚鱼分布,仔稚鱼的数量占本航次仔稚鱼总量的84.99%,形成了第一个密度高达13 086尾/站的密集分布中心;在二、三、四、五和六断面50 m等深线以外这一广阔的深水海域共采集到2 145尾仔稚鱼,仔稚鱼的数量占本航次仔稚鱼总量的13.93%,形成了第二个分布范围较大、平均密度为178.8尾/站的分布区,仔稚鱼种类也较多,达47种(占本航次仔稚鱼

种类数量的 85.45%), 以鳀和棱鲛的数量最多, 其次为条尾绯鲤、绯鲈、鲈、长条蛇鲻等 14 个种类, 竹筴鱼、刺鲳、圆舵鲷等 30 个种类的数量较少; 而三、四、五和六断面 50 m 等深线以内的浅水

海域仅共采集到 67 尾仔稚鱼, 形成了第三个平均密度仅为 9.6 尾/站的分布区, 仔稚鱼种类 15 种, 以棱鲛、鳀和大鳞短额鲷的数量较多, 白姑鱼、条尾绯鲤、鲈、鲷等 12 个种类的数量比较少; 在一断

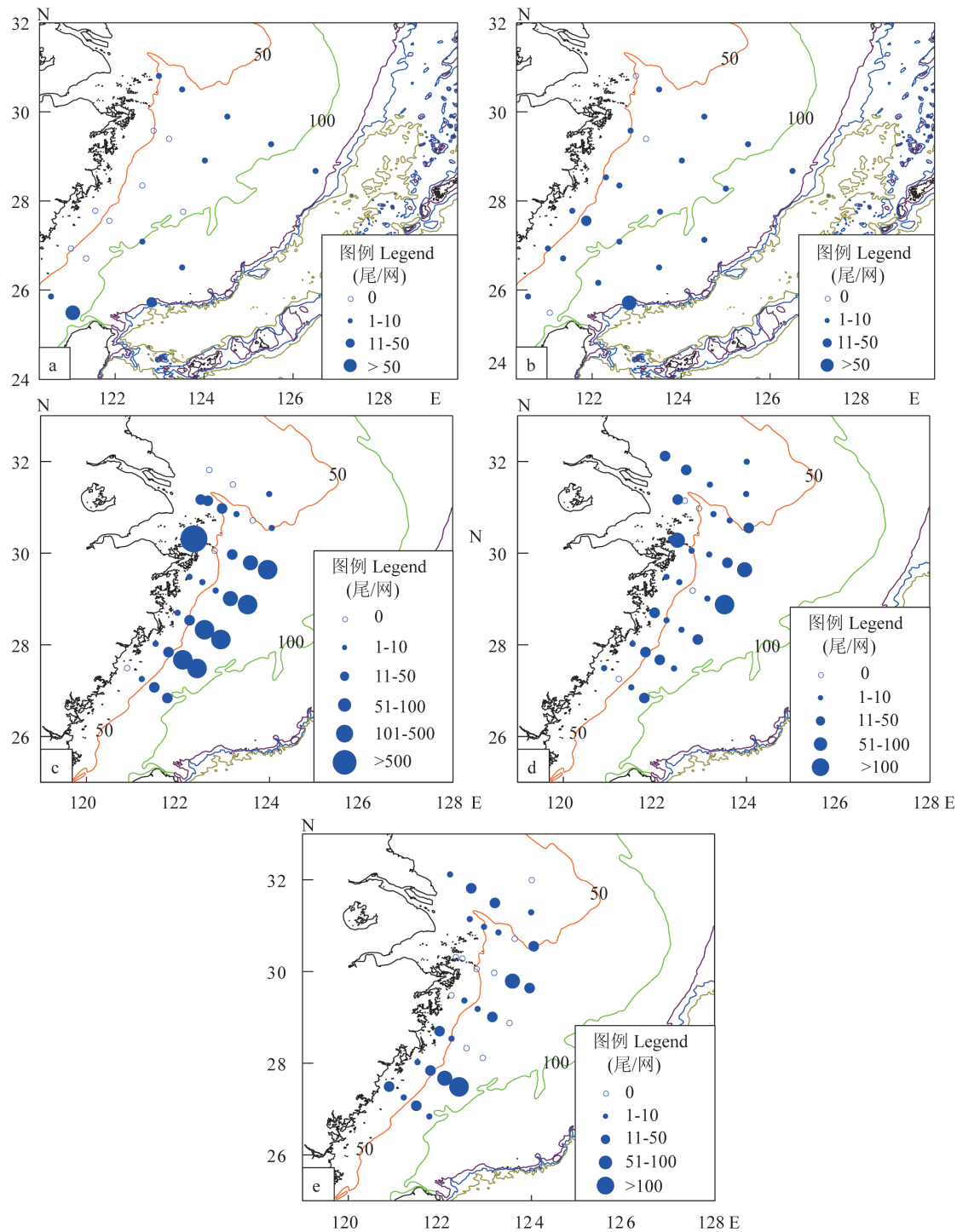


图 3 东海仔稚鱼数量分布

(a) 2006 年 11 月—12 月; (b) 2007 年 2 月—3 月; (c) 2007 年 5 月; (d) 2008 年 5 月; (e) 2008 年 6 月

Fig. 3 Fish larval abundance distribution in the East China Sea

(a) Nov - Dec 2006; (b) Feb - Mar 2007; (c) May 2007; (d) May 2008; (e) June 2008

面的 S1-1、S1-2、S1-3 和 S1-4 站共采集到 87 尾仔稚鱼,形成了分布范围比较小、平均密度为 21.8 尾/站的分布区,仔稚鱼的种类 9 种,以鳀、小黄鱼、矛尾复鰕虎鱼、短鳍红娘鱼和条尾绯鲤的数量较多,还有少量的六带拟鲈、竿鰕虎鱼、褐菖鲉和短吻红舌鲷,此外,0 断面的 S0-4 站和一断面的 S1-6 站也分别出现 6 尾仔稚鱼和 1 尾梭鲈稚鱼分布(图 3-c)。

2008 年 5 月(第四航次)调查期间共采集到 26 种、586 尾仔稚鱼,仔稚鱼的出现频率为 88.24%,调查范围内仔稚鱼的平均密度为 17.2 尾/站(表 2 和表 4)。仔稚鱼较为广泛地分布于整个调查海域。在一、二和三断面的 S1-6、S2-5、S2-6 和 S3-5 深水站位共采集到 249 尾仔稚鱼,仔稚鱼数量占本航次仔稚鱼总量的 42.49%,形成了平均密度为 62.3 尾/站的相对密集分布区,仔稚鱼种类 6 种,以鳀的数量最多,白姑鱼、长条蛇鲻等 5 个种类的数量较少;其次,在 0、一和二断面的 S0-1、S0-2、S1-1、S2-1 和 S2-2 浅水站位共采集到 148 尾仔稚鱼,仔稚鱼数量占本航次仔稚鱼总量的 25.26%,形成了第二个平均密度为 29.6 尾/站的相对密集分布区,仔稚鱼种类 10 种,以梭鲈的数量最多,其次为鳀,条尾绯鲤、白姑鱼、矛尾复鰕虎鱼、竿鰕虎鱼等 8 个种类的数量较少(图 3-d)。

2008 年 6 月(第五航次)调查期间共采集到 32 种、539 尾仔稚鱼,仔稚鱼的出现频率为 69.70%,调查范围内仔稚鱼的平均密度为 16.3 尾/站(表 2 和表 4)。仔稚鱼分布较为分散,大致形成四个分布区。五和六断面海域共采集到 362 尾仔稚鱼,仔稚鱼的数量占本航次仔稚鱼总量的 67.16%,形成了平均密度为 45.3 尾/站的分布区,仔稚鱼种类也比较多,达 21 种,以圆舵鲹的数量最多,其次为条尾绯鲤、鳀和长条蛇鲻,白姑鱼、美肩鳃鲷、六指马鲛、六斑刺鲀等 17 个种类的数量较少,其中,五断面的 S5-2、S5-3 和 S5-4 站共采集到 16 种、304 尾仔稚鱼,形成了平均密度达 101.3 尾/站、以圆舵鲹为主和少量的条尾绯鲤、长条蛇鲻等的密集分布中心;0 断面的 S0-4 站、一断面的 S1-6 站以及二断面的 S2-5 和 S2-6 站共采集到 93 尾仔稚鱼,仔稚鱼的数量占本航次仔稚鱼总量的 17.25%,形成第二个平均密度为 23.3 尾/站的分布区,仔稚鱼种类 13 种,以矛尾复鰕虎鱼的数量较多,其次为鳀、白姑鱼、麦氏犀鲂和长条蛇鲻,七星底灯鱼、条尾绯鲤等 8 个种类的数量较少;三断面的 S3-2、S3-3 和 S3-4 站以及四断面的 S4-1 和 S4-2 站共采

集到 44 尾仔稚鱼,仔稚鱼数量占本航次仔稚鱼总量的 8.16%,形成第三个平均密度为 8.8 尾/站分布区,仔稚鱼种类 8 种,以鳀的数量较多,其次为蓝圆鲹,美肩鳃鲷、白姑鱼等 6 个种类的数量较少;0 断面的 S0-1、S0-2 和 S0-3 站以及一断面的 S1-2、S1-3 和 S1-4 站共采集到 40 尾仔稚鱼,仔稚鱼数量占本航次仔稚鱼总量的 7.42%,形成第四个平均密度为 5.7 尾/站的分布区,仔稚鱼种类 7 种,以鳀的数量较多,矛尾复鰕虎鱼、矶鲷、多鳞鱮等 6 个种类的数量较少(图 3-e)。

3 物理环境

3.1 表层水温

2006 年 11 月—12 月(第一航次)调查海区的表层水温 14.78 ~ 26.11 °C。水温分布大致形成西北低东南高、近岸低外海高的分布格局,沿岸几个河口区域为明显的低温区。长江口到浙江与福建交界、50 m 等深线附近海域存在一个温度锋面,其低温一侧的 50 m 等深线以内海域,水温低于 20 °C;大陆架边缘存在另一个温度锋面,其高温一侧的大陆架边缘以及台湾海峡东北部海域,水温高于 25 °C(图 4-a)。

2007 年 2 月—3 月(第二航次)调查海区的表层水温 9.88 ~ 24.61 °C,分布也是呈现西北低东南高、近岸低外海高的分布的趋势,河口区域的低温区消失。近岸水温明显下降,20 °C 等温线向外扩展到 100 m 等深线附近海域,水温高于 24 °C 的海域仅出现在陆架的南部边缘。长江口外的水温最低(10 °C 左右),沿着岸线往南表层水温逐渐上升,在浙江台州为 12 °C,到浙江与福建交界的海域为 15 °C。浙江南部 50 m 等深线附近海域存在一个温度锋面,其锋面沿着 50 m 等深线分布,到台州附近转向跨陆架方向,一直延伸到陆架边缘(图 4-b)。

2007 年 5 月(第三航次)调查海区的表层水温 16.10 ~ 23.80 °C,长江口东北侧海域的水温最低(16.10 °C),低温水影响的范围和强度明显减弱,水温高于 20 °C 的区域由浙江近岸向北扩展,到达 29°N 附近海域。28°N 以北海域的等温线为东西走向,水温分布呈现南高北低的趋势;28°N 以南海域的等温线基本与岸线平行,水温呈现西北低东南高的分布趋势。水温水平梯度南部海域大于北部海域,浙江南部海域变化最大,受台湾暖流影响的范围向岸、向北扩展(图 4-c)。

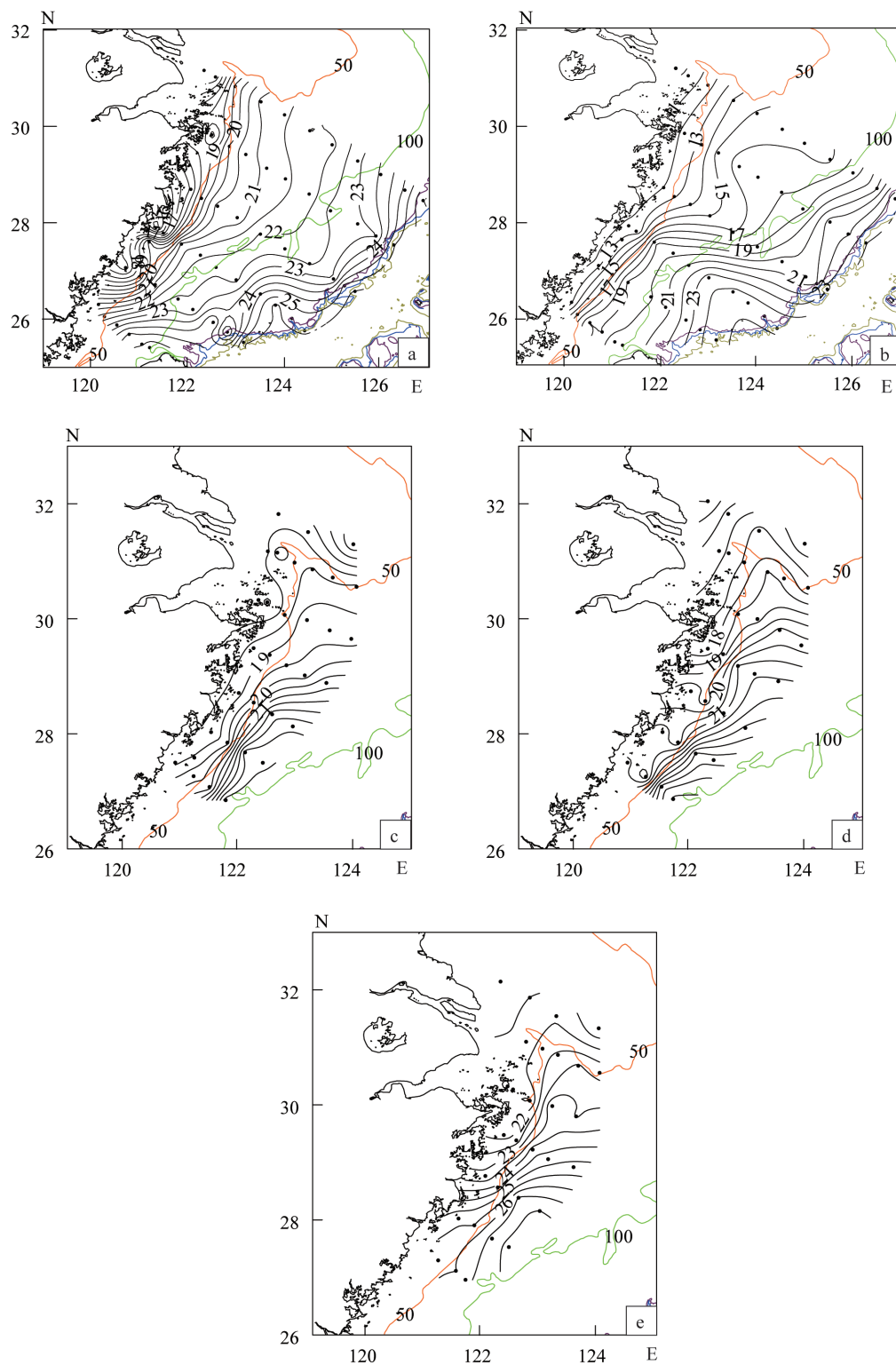


图4 东海表层水温分布

(a)2006年11月—12月; (b)2007年2月—3月; (c)2007年5月; (d)2008年5月; (e)2008年6月

Fig. 4 Sea surface temperature (SST) distribution in the East China Sea

(a) Nov - Dec 2006; (b) Feb - Mar 2007; (c) May 2007; (d) May 2008; (e) June 2008

2008年5月(第四航次)调查海区的表层水温 15.48 ~ 25.08 °C。长江口东北侧海域的水温

仍最低, 17 °C 等温线延伸到杭州湾; 水温高于 24 °C 的海域仅局限于调查海区的东南部。等温

线的分布态势与上一航次(2007年5月)基本相同,但水温的水平梯度较小,等温线密集区域偏南,台湾暖流的影响较弱(图4-d)。

2008年6月(第五航次)调查海区的表层水温 $20.03 \sim 27.13$ °C。长江口东北部海域以及杭州湾口海域,水温低于 22 °C, 23 °C等温线从浙江中部沿岸向外海,往北一直延伸到长江口海域的南部。除浙江台州 50 m等深线附近海域的表层水温等温线较为密集外,其余区域的水温水平梯度较小,台湾暖流与浙江沿岸流几乎融为一体(图4-e)。

3.2 表层盐度

2006年11月—12月(第一航次)调查海区的表层盐度 $21.39 \sim 34.31$ 。盐度从近岸往外海逐渐升高;台州和象山港外出现两个明显的、盐度低于 31 的低盐区域; 100 m等深线外侧海域盐度大于 34 ,陆架上以混合水为主;近岸区域盐度等值线很密集,几乎与岸线平行,长江冲淡水(盐度低于 26)以及沿岸水团的势力很弱(图5-a)。

2007年2月—3月(第二航次)调查海区的表层盐度 $26.40 \sim 34.86$ 。长江口海域存在一股明显的冲淡水团,其盐度最低;其次,台州近岸海域也存在另一个低盐区, $28 \sim 30^{\circ}\text{N}$ 海域有一股明显的低盐水带伸入陆架区(图5-b)。

2007年5月(第三航次)调查海区的表层盐度 $24.50 \sim 34.50$ 。长江口海域盐度低于 26 的冲淡水明显存在。盐度大于 34 的高盐水范围向岸和向北扩展到 28°N 以北。盐度等值线基本与岸线平行,台湾暖流在向北流动过程中在 28.5°N 附近海域出现了往东的分支现象(图5-c)。

2008年5月(第四航次)调查海区的表层盐度 $25.23 \sim 34.16$ 。长江冲淡水向南扩展到舟山海域。表层盐度超过 34 的高盐水分布区域明显缩小,仅出现在调查海域的东南部,盐度等值线比较平直,台湾暖流势力较弱,没分支现象出现(图5-d)。

2008年6月(第五航次)调查海区的表层盐度 $26.23 \sim 34.02$ 。长江口及其邻近海域为唯一的低盐水区,长江冲淡水势力很弱。盐度等值线在长江口海域最密集,南部海域稀疏,台湾暖流势力很强,覆盖了除长江口及其邻近海域外的整个调查海区。在 28.5°N 附近海域出现了台湾暖流的分支现象(图5-e)。

4 讨论

4.1 水温变化对硬骨鱼类产卵的影响

水温是海洋重要的物理要素之一,是海洋生

物生存的重要环境因子,对鱼类的洄游、集群和产卵以及鱼卵和仔稚鱼的分布、发育和存活有着重要的影响^[21]。第一航次、第二航次和第三航次调查期间正值2006年—2007年的秋末初冬、冬末初春和春末时节。调查结果表明:东海的水温环境处于降温、全年最低和逐渐回升的变化过程,硬骨鱼类的产卵繁殖经历了产卵末期、产卵初期和产卵盛期3个不同阶段^[22],分别采集到13种、536粒鱼卵和26种、121尾仔稚鱼、23种、1445粒鱼卵和43种、183尾仔稚鱼与29种、37735粒鱼卵和55种、15397尾仔稚鱼(表2),鱼卵、仔稚鱼的种类和数量随着产卵季节的变化依次逐渐增多;第四航次和第五航次调查期间为2008年的春末和初夏时节,两个季节的调查时间相隔一个月,东海水温环境呈现继续升温过程,硬骨鱼类进入产卵盛期,春末和初夏时节的鱼卵、仔稚鱼种类数量基本相同,分别为47种和46种,但初夏季节鱼卵数量(33419粒)显著多于春季(1678粒)。2006—2007年的秋末初冬、冬末初春和春末时节与2008年的春末和初夏时节,鱼卵、仔稚鱼种类和数量的变化趋势符合硬骨鱼类繁殖生物学的季节变化规律^[22]。

5个航次调查过程中优势种类、重要种类和主要种类的组成及其IRI值随调查季节和调查年份的不同而发生变化,体现了各个种类的产卵季节、产卵期的长短和产卵盛期的不同以及不同季节、不同年份生殖群体结构不同的区别。42种优势种类、重要种类和主要种类,其鱼卵和仔稚鱼数量分别占调查采样鱼卵和仔稚鱼总量的99.51%和98.87%,构成当前东海生态系统中鱼卵、仔稚鱼种类组成的重要成分。

4.2 物理环境的变化对产卵场分布的影响

鱼卵不具备活动能力,而仔稚鱼具有一定的巡游性游泳能力,但巡游能力非常弱^[23],鱼卵和仔稚鱼基本上营随波逐流的漂流生活方式。因此,鱼卵和仔稚鱼的分布与海流、潮汐以及水温和盐度分布等物理海洋学要素的关系密切^[24-26];仔稚鱼具备了主动追索食饵的习性^[27-28],一旦遇到合适的饵料生物,在饵料生物分布区内仔稚鱼的巡游速度减慢^[29],并滞留在饵料生物分布区内^[30-31],因此,仔稚鱼的分布除了与物理海洋学要素密切相关外,也与饵料生物分布有着一定的关系^[32-33]。

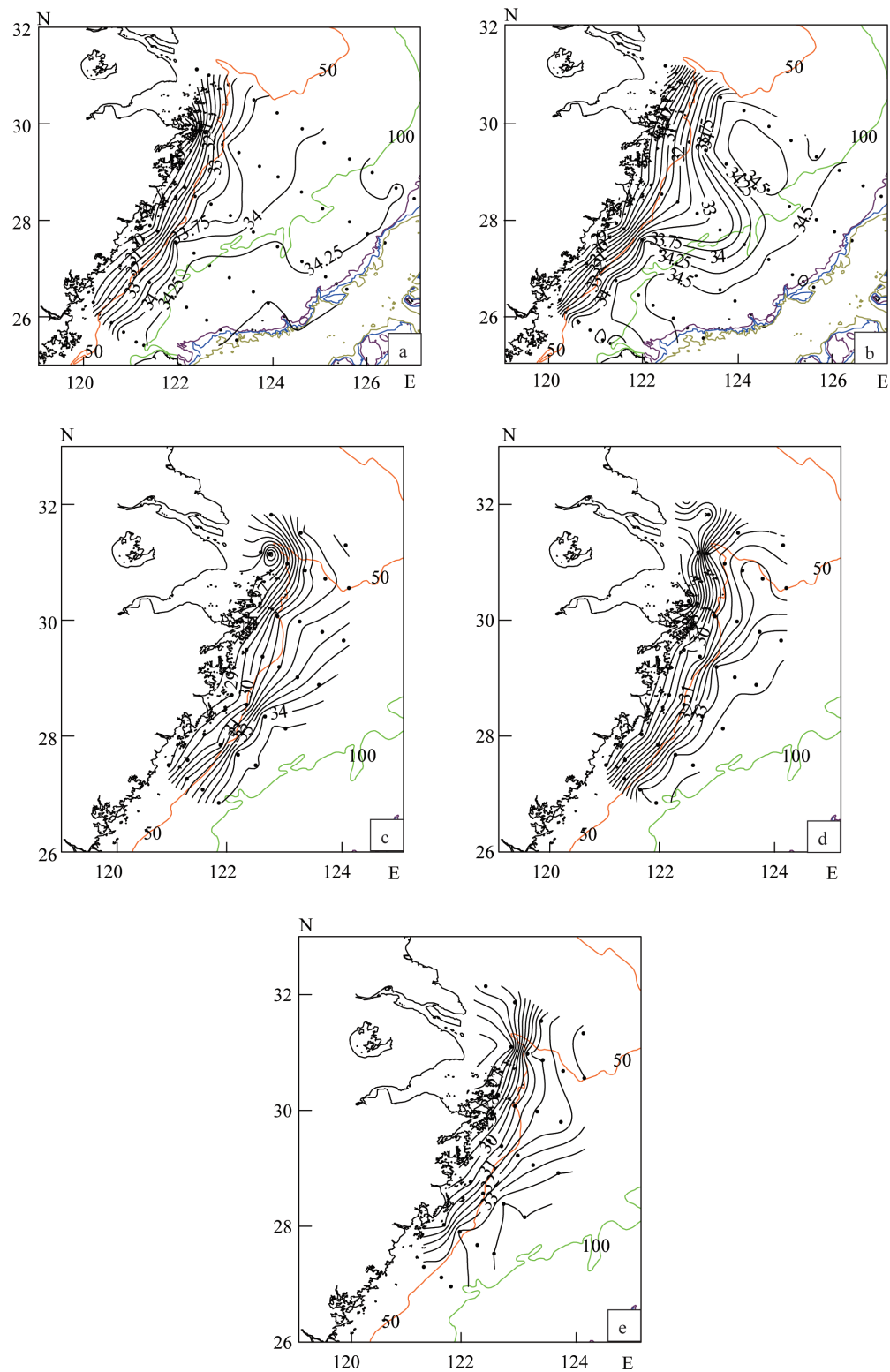


图 5 东海表层盐度分布

(a)2006 年 11 月—12 月; (b)2007 年 2 月—3 月; (c)2007 年 5 月; (d)2008 年 5 月; (e)2008 年 6 月

Fig. 5 Sea surface salinity (SSS) distribution in the East China Sea

(a)Nov - Dec 2006; (b)Feb - Mar 2007; (c)May 2007; (d)May 2008; (e)June 2008

2007 年春季与 2008 年春季,由台湾暖流和近岸水形成的温、盐锋面向北扩展到 28.5°N 附

近海域,陆架海域上温、盐锋面外海一侧海域的水温高于近岸一侧海域(图 4-c, d; 图 5-c, d),外海

一侧海域的鱼卵和仔稚鱼的数量明显高于近岸一侧,形成了数量分布相对较为集中的分布区(图 2-c, d; 图 3-c, d); 而长江口及其邻近海域, 2007 年春季有一个盐度较高、温度较低的区域(图 4-c; 图 5-c), 在 S0-3 站形成了对盐度的要求较温度更为敏感、盐度条件必须 21 以上的鳀鱼卵^[34]的密集分布中心(图 2-c); 在暖舌锋面西南侧长江冲淡水、钱塘江北部径流与外海海水交汇的盐度较低的站位(S1-1、S1-2、S1-3 和 S2-1 站), 形成了以半咸水种类——棱鲮^[35]占绝对优势的仔稚鱼密集分布区(图 3-c), 该仔稚鱼密集分布区的形成可能还与海域中存在适合棱鲮仔稚鱼摄食的饵料生物的种类与密度有一定的关系^[30-31]; 2008 年春季由台湾暖流和近岸水形成的温、盐锋面都较 2007 年春季更靠近近岸并向北延伸得更远, 长江冲淡水对长江口及其邻近海域的影响范围较 2007 年春季小, 外海海水更向沿岸逼近, 表层水温偏低、表层盐度偏高(图 4-c, d; 图 5-c, d), 因此, 长江口及其邻近海域的鱼卵数量较 2007 年显著偏少, 而且分布也比较分散(图 2-c, d)。适宜的温、盐度范围以及锋区的辐聚和卷夹作用可能是影响其数量分布以及密集分布区形成的主要因素^[36-37]。仔稚鱼的分布与饵料生物的关系仍有待进一步分析和研究。

2008 年初夏与 2008 年春季比较, 鱼卵的数量与分布发生显著的变化。2008 年初夏, 整个调查海域的表层水温较 2008 年春季明显上升, 长江口及其邻近海域升温更为明显, 台湾暖流从浙江中部沿岸向外海、往北一直延伸到长江口海域的南部, 在 28.5°N 附近海域形成一个大弯曲的盐度和温度锋(图 4-e; 图 5-e), 温度和盐度等海洋环境适宜, 多种硬骨鱼类进入了产卵盛期^[22], 鱼卵数量较 2008 年春季显著增多并在长江口及其邻近海域以及 28.5°N 附近海域盐度和温度锋面形成了鱼卵数量相对密集的分布区(图 2-e)。

2008 年初夏季节与 2007 年春季, 鱼卵的数量相似, 但分布却有显著的不同。2008 年初夏东海陆架上, 由于台湾暖流向北和向近岸的扩展, 随着锋面位置的改变, 鱼卵的密集分布区也明显地向北和向岸移动(图 2-c, e)。长江口海域及其邻近海域, 锋面位置变化不大, 但 2008 年初夏的水温较 2007 年春季显著上升, 鱼卵数量显著增加, 形成了鱼卵分布相对的密集分布区(图 2-e)。仔

稚鱼的分布特征也符合在锋面外海一侧多于近岸一侧的特点(图 3-e); 而 2008 年初夏仔稚鱼的数量比 2007 年春季显著减少(图 3-c, e), 与 2008 年春季鱼卵的数量偏少有关(表 2)。

生物自身在生理生态上对外界环境变化做出的效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调查与研究^[3]。

4.3 鱼卵、仔稚鱼种类组成的季节变化与物理环境的关系

2006 年秋季与 2006/2007 年冬季调查期间正值秋末冬初与冬末春初季节, 东海生态系统中硬骨鱼类的产卵繁殖处于产卵末期与产卵初期^[22], 分别采集到 13 种、536 粒鱼卵和 26 种、121 尾仔稚鱼与 23 种、1 445 粒鱼卵和 43 种、183 尾仔稚鱼(表 2)。虽然 2006/2007 年冬季整个调查海域的表层水温最低, 但仅长江口外一站的水温低于 10℃, 整个调查海域的表层水温基本上达到 11℃以上, 13℃等温线由长江口海域延伸到浙江中部沿岸, 20℃等温线达到 100 m 等深线附近海域(图 4-b)。当前东海海域中, 鳀和带鱼为周年产卵的种类^[22]。鳀鱼卵胚胎发育的阈温度为 10.26℃^[38], 表明 2006 和 2007 年冬季整个调查海域的水温条件基本满足鳀产卵要求。采集到的鱼卵种类中, 还有周年产卵的带鱼(鱼卵数量为本航次的第一位, 占本航次鱼卵数量的 26.99%) 以及夏秋冬季产卵的鳎齿鱼(占 1.52%)、秋冬季产卵的角木叶鲷(占 4.64%)、冬春季产卵的棱鲮(占 0.14%)、冬春季产卵的多齿蛇鲻、麒麟、鲈和绿鳍鱼(共占 36.13%)、春季产卵的斑点莎瑙鱼(占 0.14%)、春夏季产卵的翱翔飞鱼、小鳍针飞鱼和短吻三线舌鳎(共占 9.41%) 以及春夏秋季产卵的花斑蛇鲻、蓝圆鲹、小黄鱼和短吻红舌鳎(共占 28.03%)。可见, 2006 和 2007 年冬季调查期间虽然表层水温最低, 但正值春季与冬季交替时节, 夏秋冬季和秋冬季产卵的种类即将结束一年一度的产卵繁殖, 春季、春夏季以及春夏秋季产卵的种类陆续开始产卵, 生殖群体中以周年产卵、冬春季产卵、冬春季产卵、春季产卵以及春夏秋季产卵的种类为主体, 鱼卵与仔稚鱼的种类和数量明显增多。2007 年春季, 调查海区的表层水温已达 16.10 ~ 23.80℃、表层盐度为 24.50 ~

34.50,温、盐环境条件适宜,产卵种类显著增加,共采集到 29 种、37 735 粒鱼卵与 55 种、15 397 尾仔稚鱼。综上所述,秋季、冬季和春季鱼卵和仔稚鱼的种类和数量随着季节的变化依次逐渐增多,其变化趋势除了与海洋温、盐度密切相关外还体现出东海硬骨鱼类繁殖生物学的季节变化规律。

2008 年春季与 2007 年春季的表层水温分别为 15.48 ~ 25.08 °C 与 16.10 ~ 23.80 °C,低温值 2008 年略低于 2007 年 0.62 °C,而高温值 2008 年高于 2007 年 1.28 °C。采集到的鱼卵种类数量 2008 年春季(32 种)略多于 2007 年(29 种),但鱼卵数量差异悬殊(2008 年 1 678 粒,2007 年 37 735 粒);仔稚鱼的种类和数量,2008 年(26 种、586 尾)均显著少于 2007 年(55 种、15 397 尾)。鱼卵数量的差异具体体现在鳀上,2008 年春季仅采集到 15 粒而 2007 年采集到 36 357 粒。将鳀鱼卵另作讨论,2008 年春季其他 31 种的鱼卵数量(1 663 粒)略多于 2007 年春季其他 28 种的鱼卵数量(1 378 粒)。从水温分布格局,30°N 以北的长江口及其邻近海域,2008 年的表层水温低于 2007 年,尤其长江口海域 2008 年为 16 ~ 18 °C,而 2007 年已达 18 °C(图 4-c;图 4-d),除鳀以外,2008 年采集到的鱼卵种类和数量(4 种、20 粒)少于 2007 年(7 种、149 粒);30°N 以南的南部海域,2008 年的表层水温高于 2007 年,尤其浙江至福建北部沿海,2008 年已达 20 °C 以上,而 2007 年只有 18.5 °C 左右(图 4-c;图 4-d),除鳀以外,2008 年采集到的鱼卵种类和数量(30 种、1 643 粒)略多于 2007 年(26 种、1 229 粒)。鳀为分批产卵的种类之一^[39],卵细胞边发育成熟边产卵,属多峰连续排卵类型^[40]。自然海区中,水温条件为 17.05 ~ 18.88 °C 和 21.78 ~ 22.68 °C 时,鳀鱼卵的孵化时间为 50 ~ 52 h 和 42 ~ 44 h^[38]。2008 年和 2007 年春季,调查海域的水温条件已完全满足鳀产卵和卵子孵化的要求,可能 2008 年春季调查期间生殖群体中一批卵细胞发育成熟的亲体已产过卵,另外的亲体卵细胞还没发育成熟,整个调查海域才采集到 15 粒鳀鱼卵(共 6 站);2007 年调查期间正逢生殖群体中一批卵细胞发育成熟的亲体正在产卵,仅长江口海域 S0-3 站就采集到 32 400 粒鳀鱼卵,此站的鳀鱼卵数量占本航次鱼卵总量的 85.86%,从而导致 2008 年春季的鱼卵数量与 2007 年春季相差悬殊。由于仔稚鱼的种

类和数量与前期出现的鱼卵种类和数量、鱼卵的孵化率以及仔稚鱼的成活率密切相关,2008 年春季仔稚鱼的种类和数量显著少于 2007 年春季,有可能是 2007 和 2008 年冬季至 2008 年春季期间出现的鱼卵种类和数量与 2008 年春季鱼卵数量一样少于 2007 年的所致。

2008 年初夏季节,调查海域的表层水温为 20.03 ~ 27.13 °C,较 2008 年春季明显上升。调查期间共采集到 23 种、33 419 粒鱼卵和 32 种、539 尾仔稚鱼,与 2008 年春季比较,采集到的鱼卵和仔稚鱼种类数量减少、鱼卵数量显著增多、仔稚鱼数量有所增加(表 2)。调查期间正值初夏时节,冬春季产卵的梭鲈和春季产卵的斑点莎瑙鱼、短鳍红娘鱼等种类产卵已结束。生殖群体以春夏季产卵的康氏小公鱼、少鳞鳢、蓝圆鲈和毛烟管鱼等种类为主体(共占 78.95%),春夏秋季产卵的大头狗母鱼、长条蛇鲻、花斑蛇鲻、叫姑鱼、白姑鱼、小黄鱼和短吻红舌鲷占 8.47%,夏季产卵的多鳞鳢、棘箱鲀、六斑刺鲀和鬼鲉占 7.04%,冬春夏季产卵的竹筴鱼、麒麟和鲈占 3.43%,周年产卵的鳀鱼和带鱼占 2.00%,以及少量夏秋季产卵(如日本鳎等)种类,鱼卵的种类数量较春季有所减少。春夏季产卵的种类中,康氏小公鱼产卵的水温条件必须 21 °C 以上,产卵的适宜水温条件为 22.5 ~ 28.5 °C^[34];蓝圆鲈产卵场的水温条件为 18 ~ 29 °C,产卵盛期的水温为 24.57 ~ 26.57 °C^[41]。初夏时节水温升高,康氏小公鱼和蓝圆鲈进入产卵盛期,康氏小公鱼和蓝圆鲈鱼卵的数量(分别占初夏季节鱼卵总量的 34.12% 和 42.92%)较春季(分别占春季鱼卵总量的 0.66% 和 2.56%)显著增加,使得初夏季节鱼卵的数量较春季显著增多。仔稚鱼的种类减少和数量有所增多可能与鱼卵的种类减少和数量增多有一定的关系。

综上所述,不同季节、不同年份的海洋环境条件与不同种类的繁殖生物学特性是不同季节、不同年份鱼卵和仔稚鱼种类组成与数量发生变化的主要因素。

“北斗”调查船船长、轮机长、全体船员以及各航次调查的同事协助采集样品,以及本研究在农业部黄渤海渔业资源环境重点野外科学观测试验站资助下完成,谨致谢忱。

参考文献:

- [1] Zheng Y J, Shen X Q. Characteristics and status of marine environment and fisheries resources in the East China Sea [M] // Zheng Y J, Shen X Q, Cheng J H, *et al.* Eds. The living resources and its habitat in the East China Sea continental shelf. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2003: 2 - 4. [郑元甲, 沈新强. 东海区海洋环境和渔业资源的特点及其地位 // 郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 等. 东海大陆架生物资源与环境. 上海: 上海科学技术出版社, 2003: 2 - 4.]
- [2] Tang Q S, Su J L. Study on marine ecosystem dynamics and living resources sustainable utilization [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2001, 16 (1): 5 - 11. [唐启升, 苏纪兰. 海洋生态系统动力学研究与海洋生物资源可持续利用. 地球科学进展, 2001, 16 (1): 5 - 11.]
- [3] Jin X S, Shan X J, Guo X W, *et al.* Community structure of fishery biology in Yangtze River and its adjacent waters [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29 (9): 4761 - 4772. [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. 生态学报, 2009, 29 (9): 4761 - 4772.]
- [4] Shi Y R, Chao M, Quan W M, *et al.* Spatial variation in fish community of Yangtze River estuary in Spring [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18 (5): 1141 - 1151. [史贇荣, 晁敏, 全为民, 等. 2010年春季长江口鱼类群落空间分布特征. 中国水产科学, 2011, 18 (5): 1141 - 1151.]
- [5] Zhang F G, Yang G F, Shen Z L. Effect of the Three Gorge Project on hydrographical, hydrochemical and Sedimentary environments of the Changjiang River estuary [M] // The leading group of ecological and environmental project of the Three Gorge Dam, Chinese Academy of Sciences ed. Proceedings on the impacts of the Three Gorge Project on the ecology and environment and possible countermeasures. Beijing: Science Press, 1987: 369 - 402. [张法高, 杨光复, 沈志良. 三峡工程对长江口水文、水化学和沉积环境的影响 // 长江三峡工程对生态与环境的影响及其对策研究论文集. 北京: 科学出版社, 1987: 369 - 402.]
- [6] Liu R Y, Luo B Z, Cui Y H, *et al.* Effects of the Three Gorge Project on estuarine biology and fishery resources [M] // The leading group of ecological and environmental project of the Three Gorge Dam, Chinese Academy of Sciences ed. Proceedings on the impacts of the Three Gorge Project on the ecology and environment and possible countermeasures. Beijing: Science Press, 1987: 430 - 446. [刘瑞玉, 罗秉征, 崔玉珩, 等. 三峡工程对河口生物及渔业资源的影响 // 长江三峡工程对生态与环境的影响及其对策研究论文集. 北京: 科学出版社, 1987: 403 - 446.]
- [7] Gong G C, Chang J, Chiang K P, *et al.* Reduction of primary production and changing of nutrient ratio in the East China Sea: Effect of the Three Gorges Dam? [J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33 (L7610): 1 - 4.
- [8] Gong G C, Lee Y L, Liu K K. Chemical hydrography and chlorophyll a distribution in the East China Sea in summer: Implications in nutrient dynamics [J]. *Continental Shelf Research*, 1996, 16 (12): 1561 - 1590.
- [9] Chen C C, Shiah F K, Chiang K P, *et al.* Effects of the Changjiang (Yangtze) River discharge on planktonic community respiration in the East China Sea [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2009, 114 (C03005): 1 - 15.
- [10] Luo B Z, Xue P, Lu J W, *et al.* Impact of the Three Gorges Projects on the fishery of the Changjiang River estuary and adjacent waters [J]. *Studia Marina Sinica*, 1992, 33: 341 - 352. [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. 海洋科学集刊, 1992, 33: 341 - 352.]
- [11] Wan R J, Zhou F, Shan X J, *et al.* Impact of variability of habitat on species composition of ichthyoplankton and distribution of fish spawning ground in the Changjiang River estuary and its adjacent waters [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (3): 155 - 165.
- [12] Wan R J, Sun S. The category composition and abundance of ichthyoplankton in the ecosystem of the Yellow Sea and the East China Sea [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, 52 (1): 28 - 44. [万瑞景, 孙珊. 黄、东海生态系统中鱼卵、仔稚幼鱼种类组成与数量分布. 动物学报, 2006, 52 (1): 28 - 44.]
- [13] Yang D L, Wu G Z, Sun J R. The investigation of pelagic eggs, larvae and juveniles of fishes at the mouth of the Changjiang River and adjacent areas [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1990, 21 (4): 346 - 353. [杨东莱, 吴光宗, 孙继仁. 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, 1990, 21 (4): 346 - 353.]
- [14] Zhu X H, Liu D, Sha X S. Relationship between community structure of ichthyoplankton and

- environmental factors in the estuary of Changjiang River in spring [J]. *Studia Marina Sinica*, 2002, 44: 169 - 179. [朱鑫华, 刘栋, 沙学绅. 长江口春季鱼类浮游生物群落结构与环境因子的关系. 海洋科学集刊, 2002, 44: 169 - 179.]
- [15] Shan X J, Xian W W, Wu Y F. Dynamic changes in the ichthyoplankton community structure after the sluice of the Three Gorges Dam [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2005, 35(6): 936 - 940. [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.]
- [16] Jiang M, Shen X Q, Wang Y L, *et al.* Species of fish eggs and larvae and distribution in Changjiang estuary and vicinity waters [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28(2): 171 - 174. [蒋玫, 沈新强, 王云龙, 等. 长江口及其邻近水域鱼卵、仔鱼的种类组成与分布特征. 海洋学报, 2006, 28(2): 171 - 174.]
- [17] Wang J H, Sun Y W, Liu C C, *et al.* The ichthyoplankton resource investigation in Changjiang estuary [J]. *Journal of Marine Sciences*, 2007, 25(4): 40 - 50. [王金辉, 孙亚伟, 刘材材, 等. 长江口鱼卵仔鱼资源现状的调查与分析. 海洋学研究, 2007, 25(4): 40 - 50.]
- [18] Liu S D, Xian W W. Temporal and spatial patterns of the ichthyoplankton community in the Yangtze estuary and its adjacent waters [J]. *Biodiversity Science*, 2009, 17(2): 151 - 159. [刘淑德, 钱薇薇. 长江口及其邻近水域鱼类浮游生物群落的时空格局. 生物多样性, 2009, 17(2): 151 - 159.]
- [19] Jiao N Z, Zhang Y, Zeng Y H, *et al.* Ecological anomalies in the East China Sea: Impacts of the Three Gorges Dam? [J]. *Water Research*, 2007, 41(6): 1287 - 1293.
- [20] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [J]. *California Department of Fish and Game Fish Bulletin*, 1971, 152: 1 - 105.
- [21] Chen Y Q, Wang Y L. Oceanographic hydrology [M] // Zheng Y J, Shen X Q, Cheng J H, *et al.* eds. The living resources and its habitat in the East China Sea continental shelf. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2003: 30 - 66. [陈渊泉, 王云龙. 海洋水文 // 郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 等. 东海大陆架生物资源与环境. 上海: 上海科学技术出版社, 2003: 30 - 66.]
- [22] Jiang M, Chen L F. Fish eggs and larvae [M] // Zheng Y J, Shen X Q, Cheng J H, *et al.* eds. The living resources and its habitat in the East China Sea continental shelf. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2003: 206 - 234. [蒋玫, 陈莲芳. 鱼卵、仔稚鱼 // 郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 等. 东海大陆架生物资源与环境. 上海: 上海科学技术出版社, 2003: 206 - 234.]
- [23] Yin M C, Blaxter J H S. Cruising speeds during early development and starvation of marine fish larvae [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1989, 20(1): 1 - 9. [殷名称, Blaxter J H S. 海洋鱼类仔鱼在早期发育期和饥饿期的巡游速度. 海洋与湖沼, 1989, 20(1): 1 - 9.]
- [24] Ellertsen B, Solemdal T, Strømme T, *et al.* Spawning period, transport and dispersal of eggs from the spawning area of Arcto-Norwegian cod (*Gadus morhua* L.) [R]. *Rapports et Procès-verbaux des Réunions, Conseil international pour l'Exploration de la Mer*, 1981, 178: 260 - 267.
- [25] Rakocinski C F, Lyczkowski-Shultz J, Richardson S L. Ichthyoplankton assemblage structure in Mississippi Sound as revealed by canonical correspondence analysis [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1996, 43(2): 237 - 257.
- [26] Grioche A, Koubbi P. A preliminary study of the influence of a coastal frontal structure on ichthyoplankton assemblages in the English Channel [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1997, 54(1): 93 - 104.
- [27] Grave H. Food and feeding of mackerel larvae and juveniles in the North Sea [R]. *Rapports et Procès-verbaux des Réunions, Conseil international pour l'Exploration de la Mer*, 1981, 178: 454 - 459.
- [28] Gronkjaer P C, Clemmesen C, St John M. Nutritional condition and vertical distribution of Baltic cod larvae [J]. *Journal of Fish Biology*, 1997, 51 (Supplement SA): 352 - 369.
- [29] Hunter J R, Thomas G L. Effect of prey distribution and density on the searching and feeding behavior of larval anchovy *Engraulis mordax* Girard [M] // Blaxter J H S, ed. *The Early Life History of Fish*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1974: 559 - 574.
- [30] Iles T D, Sinclair M. Atlantic herring: Stock discreteness and abundance [J]. *Science*, 1982, 215(4533): 627 - 633.
- [31] Sinclair M, Iles T D. Atlantic herring (*Clupea harengus*) distributions in the gulf of maine-scotian shelf area in relation to oceanographic features [J].

- Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1985, 42(5): 880 – 887.
- [32] Zhang W C, Xu K D, Wan R J, *et al.* Spatial distribution of ciliates, copepod nauplii and egg, *Engraulis japonicus* post-larvae and microzooplankton herbivorous activity in the Yellow Sea, China [J]. Aquatic Microbial Ecology, 2002, 27(3): 249 – 259.
- [33] Lee O, Nash R D M, Danilowicz B. Small-scale spatio-temporal variability in ichthyoplankton and zooplankton distribution in relation to a tidal-mixing front in the Irish Sea [J]. ICES Journal of Marine Science, 2005, 62(6): 1021 – 1036.
- [34] Wu G Z. The ecological characteristics of distribution of eggs, larvae and juveniles of the *Engraulis japonicus* (Temminck & Schlegel) and *Anchoviella commersonii* (Lacépède) in the Changjiang River estuary [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1989, 20(3): 217 – 229. [吴光宗. 长江口海区鳀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.]
- [35] Yang D L, Wu G Z, Sun J R. The investigation of pelagic eggs, larvae and juveniles of fishes at the mouth of the Changjiang River and adjacent areas [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1990, 21(4): 346 – 353. [杨东莱, 吴光宗, 孙继仁. 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, 1990, 21(4): 346 – 353.]
- [36] Wei H, Su J, Wan R J, *et al.* Tidal front and the convergence of anchovy (*Engraulis japonicus*) eggs in the Yellow Sea [J]. Fisheries Oceanography, 2003, 12(4/5): 434 – 442.
- [37] Wan R J, Wei H, Sun S, *et al.* Spawning ecology of the anchovy *Engraulis japonicus* in the spawning ground of the Southern Shandong Peninsula I. Abundance and distribution characters of anchovy eggs and larvae [J]. Acta Zoologica Sinica, 2008, 54(5): 785 – 797. [万瑞景, 魏皓, 孙珊, 等. 山东半岛南部产卵场鳀鱼的产卵生态 I. 鳀鱼鱼卵和仔稚幼鱼的数量与分布特征. 动物学报, 2008, 54(5): 785 – 797.]
- [38] Wan R J, Zhao X Y, Wei H. Spawning ecology of the anchovy *Engraulis japonicus* in the spawning ground of the Southern Shandong Peninsula II. Spawning habits and embryonic developmental characteristics of the anchovy [J]. Acta Zoologica Sinica, 2008, 54(6): 988 – 997. [万瑞景, 赵宪勇, 魏皓. 山东半岛南部产卵场鳀鱼的产卵生态 II. 鳀鱼的产卵习性和胚胎发育特性. 动物学报, 2008, 54(6): 988 – 997.]
- [39] Funamoto T, Aoki I. Reproductive ecology of Japanese anchovy off the Pacific coast of eastern Honshu, Japan [J]. Journal of Fish Biology, 2002, 60(1): 154 – 169.
- [40] Li F G. Study on the behaviour of reproduction of the anchovy (*Engraulis japonicus*) in the middle and southern part of the Yellow Sea [J]. Marine Fisheries Research, 1987, 8: 40 – 50. [李富国. 黄海中南部鳀鱼生殖习性的研究. 海洋水产研究, 1987, 8: 40 – 50.]
- [41] Zhang R Z. *Decapterus maruadsi* (Temminck & Schlegel) [M] // Zhao C Y, Zhang R Z, *et al.* eds. Fish eggs and larvae in the offshore waters of China. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1985: 78 – 82. [张仁斋. 蓝圆鲹 // 赵传纲, 张仁斋, 等. 中国近海鱼卵与仔鱼. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 78 – 82.]

Species composition and abundance distribution pattern of ichthyoplankton and their relationship with environmental factors in the East China Sea ecosystem

WAN Ruijing^{1*}, ZENG Dingyong², BIAN Xiaodong¹, NI Xiaobo²

(1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Shandong Province Key Laboratory of Fishery Resources and Ecological Environment, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

2. State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, The Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China)

<http://www.sexuebao.cn>

Abstract: In order to understand the species composition and abundance distribution pattern of fish eggs and larvae in the East China Sea ecosystem and their relationship with physical environmental factors, based on the data of five ichthyoplankton and physical environment surveys in the East China Sea in different seasons during November 2006 to June 2008, the seasonal and inter-annual variation of species composition and abundance distribution pattern of fish eggs and larvae, and the seasonal and inter-annual variabilities in physical environment of spawning grounds and their impacts on the distribution pattern of the spawning grounds, species composition and abundance distribution patterns of fish eggs and larvae have been discussed. The result showed that a total of 74 813 fish eggs and 16 826 fish larvae belonging to 135 taxa were collected, of which, 109 taxa have been correctly identified to species level, which belong to 99 genera, 67 families and 15 orders; while 17 taxa can only be identified to genus level, 6 taxa only identified to family level and 3 taxa identified to order level. There was a tendency toward increased species number and amount of fish eggs and larvae from autumn, winter to spring during 2006 to 2007; whereas, the species number and amount of fish eggs and larvae for samples collected in spring 2008 were significantly lower compared to those collected in spring 2007. Though the species number of fish eggs and larvae for samples collected in spring 2008 were almost the same as in early summer 2008, the amount of fish eggs were significantly larger in early summer compared to spring, on the contrary, the amount of fish larvae in early summer were almost the same as in spring 2008. Species composition of the forty-two dominant species, important species and main species are the major components of fish eggs and larvae distributed in the East China Sea currently. Studies of the physical environment in the East China Sea showed that changes in patterns of sea surface temperature and salinity were markedly different among seasons. In the research domain, the order in which the sea surface thermal front intensity varied with seasons from the strongest to the weakest was autumn-winter, spring and early summer; the distance from the frontal areas to the coastal also varied with seasons from the nearest to the farthest was autumn, winter, spring and early summer, meanwhile the frontal areas run southward in winter and run northward in summer. The sea surface saline front mostly lies close to the shore and usually runs parallel to the shoreline. The surface saline front intensity varied with seasons, most visible in winter, whereas some wane in early summer before regaining strength in autumn. The autumn-winter water temperatures in deep shelf sea areas were higher than coastal waters, and then the spawning stock moved to offshore deep-warm waters and spawned there. The water temperature in coastal waters remarkably increased in spring and the highest value was recorded in the early summer. Then the spawning stock exhibited some form of an inshore spawning migration, and the spawning ground expanded from deep shelf sea areas to coastal waters and formed inshore spawning centers. The abundance distribution patterns of the fish eggs and larvae were closely related to the surface thermal and saline fronts, also species-specific temperature-salinity tolerance. In general, fish eggs and larvae were distributed according to the spreading of the warmer surface waters and gathered at the warm side of the thermal front, with species-specific optimal temperature-salinity. Ocean environmental conditions such as temperature and salinity, and the reproductive biology of each species were the main causes of variation in species composition and distribution patterns of fish eggs and larvae among different surveys. Optimal temperature-salinity range, convergence and entrainment in the frontal area and the biological characters of the species all play the important role in the formation of high density areas of fish eggs and larvae.

Key words: fish eggs; larvae; species composition; distribution pattern; spawning ground; temperature; salinity; front; the East China Sea

Corresponding author: WAN Ruijing. E-mail: wanrj@ysfri.ac.cn

附表 东海鱼卵、仔稚鱼种类组成
Appendix Species composition of ichthyoplankton in the East China Sea

种类 taxon	调查航次 survey voyage									
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5	
	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L
海鲢目 Elopiformes										
海鲢科 Elopidae										
海鲢 <i>Elops machnata</i> (Forskål, 1775)						√				
鲱形目 Clupeiformes										
鲱科 Clupeidae										
斑点莎瑙鱼 <i>Sardinops melanosticta</i> (Temminck et Schlegel, 1846)						√				
斑鱚 <i>Konosirus punctatus</i> (Temminck et Schlegel, 1846)							√			√
鳀科 Engraulidae										
鳀 <i>Engraulis japonicus</i> (Temminck et Schlegel, 1846)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i> (Bleeker, 1849)	√				√					
中颌棱鳀 <i>Thryssa mystax</i> (Bloch et Schneider, 1801)								√		
黄鲫 <i>Setipinna taty</i> (Valenciennes, 1848)						√	√	√		
康氏小公鱼 <i>Stolephorus commersonii</i> (Lacépède, 1803)						√		√		√
鲑形目 Salmoniformes										
钻光鱼科 Gonostomatidae										
白圆帆鱼 <i>Cyclothone alba</i> Brauer, 1906								√		
奇棘鱼科 Idiacanthidae										
奇棘鱼 <i>Idiacanthus fasciola</i> Peters, 1876								√		
灯笼鱼目 Myctophiformes										
狗母鱼科 Synodontidae										
大头狗母鱼 <i>Trachinocephalus myops</i> (Bloch et Schneider, 1801)	√					√	√	√		√
长条蛇鲻 <i>Saurida longate</i> (Temminck et Schlegel, 1846)						√	√	√	√	√
花斑蛇鲻 <i>Saurida undosquamis</i> (Richardson, 1848)	√		√					√		√
多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i> Bloch, 1775								√		
灯笼鱼科 Myctophidae										
七星底灯鱼 <i>Bentosema pterotum</i> (Alcock, 1891)										√
钝吻灯笼鱼 <i>Myctophum obtusirostris</i> Tåning, 1928										√
灯笼鱼 <i>Myctophum</i> sp. 1	√									
灯笼鱼 <i>Myctophum</i> sp. 2										√
灯笼鱼 <i>Myctophum</i> sp. 3										√
炬灯鱼 <i>Lampadena</i> sp.										√
鳗鲡目 Anguilliformes										
鳗 gen. sp. 1										√
鳗 gen. sp. 2										√
鳗 gen. sp. 3									√	
康吉鳗科 Congridae										
星康吉鳗 <i>Conger myriaster</i> (Brevoort, 1856)									√	
蛇鳗科 Ophichthyidae										
蛇鳗 <i>Ophichthus</i> sp. 1	√									
蛇鳗 <i>Ophichthus</i> sp. 2	√									
蛇鳗 <i>Ophichthus</i> sp. 3									√	
蛇鳗 <i>Ophichthus</i> sp. 4							√			
蛇鳗 <i>Ophichthus</i> sp. 5									√	
前肛鳗科 Dysommidae										
前肛鳗 <i>Dysomma</i> sp.									√	√

续附表 Continued

种类 taxon	调查航次 survey voyage									
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5	
	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L
海鲰科 Muraenidae										
海鲰 gen. sp.						√				
银汉鱼目 Atheriniformes										
银汉鱼科 Atherinidae										
白氏银汉鱼 <i>Allanetta bleeker</i> (Günther, 1868)									√	
颌针鱼目 Beloniformes										
鱚科 Hemiramphidae										
沙氏下鱚鱼 <i>Hyporhamphus sajori</i> Temminck et Schlegel, 1846									√	
针飞鱼科 Oxyporhamphidae										
小鳍针飞鱼 <i>Oxyporhamphus micropterus</i> (Cuvier et Valenciennes, 1846)				√						
飞鱼科 Exocoetidae										
翱翔飞鱼 <i>Exocoetus volitans</i> Linnaeus, 1758		√	√	√				√		√
燕鳐 <i>Cypselurus</i> sp.						√				
飞鱼 gen. sp.						√				
鳕形目 Gadiformes										
犀鳕科 Bregmacerotidae										
麦氏犀鳕 <i>Bregmaceros maccllelandi</i> Thompson, 1940						√	√	√		√
金眼鲷目 Beryciformes										
鲷科 Holocentridae										
锯鳞鱼 <i>Myrispristis</i> sp.						√				
刺鱼目 Gasterosteiformes										
长吻鱼科 Macrorhamphosidae										
日本长吻鱼 <i>Macrorhamphosus japonicus</i> (Günther, 1877)						√				
海龙科 Syngnathidae										
斑海马 <i>Hippocampus trimaculatus</i> Leach, 1814								√		
烟管鱼科 Fistulariidae										
毛烟管鱼 <i>Fistularia villosa</i> Klunzinger, 1871									√	
鲱形目 Mugiliformes										
鲚科 Sphyraenidae										
油鲚 <i>Sphyraena pinguis</i> Günther, 1874						√	√			
鲱科 Mugilidae										
梭鲈 <i>Liza affinis</i> (Günther, 1836)						√	√	√	√	√
鲱 <i>Mugil cephalus</i> Linnaeus, 1758	√									
马鲛科 Polynemidae										
六指马鲛 <i>Polydactylus sextarius</i> (Bloch et Schneider, 1801)										√
鲈形目 Perciformes										
鲈科 Serranidae										
花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i> (Cuvier et Valenciennes, 1828)	√	√		√						
尖牙鲈 <i>Synagrops japonicus</i> (Steindachner et Döderlein, 1884)		√								
大眼鲷科 Priacanthidae										
短尾大眼鲷 <i>Priacanthus macracanthus</i> Cuvier et Valenciennes, 1829						√				√
发光鲷科 Acropomidae										
发光鲷 <i>Acropoma japonicus</i> Günther, 1859		√								
天竺鲷科 Apogonidae										
中线天竺鲷 <i>Apogon aculatus</i> Jordan et Snyder, 1901		√								
细条天竺鲷 <i>Apogon lieatus</i> (Temminck et Schlegel, 1842)							√			√

续附表 Continued

种类 taxon	调查航次 survey voyage									
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5	
	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L
鳔科 Sillaginidae										
多鳞鳔 <i>Sillago sihama</i> Forskål, 1775					✓	✓	✓			
少鳞鳔 <i>Sillago japonica</i> Temminck et Schlegel, 1842	✓		✓		✓	✓	✓		✓	✓
鲆科 Carangidae										
蓝圆鲆 <i>Decapterus maruadi</i> (Temminck et Schlegel, 1842)			✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i> (Temminck et Schlegel, 1842)					✓	✓	✓	✓	✓	
高体若鲆 <i>Caranx equula</i> Temminck et Schlegel, 1842										✓
黑纹条鲷 <i>Zonichthys nigrofasciata</i> (Rüppell, 1828)						✓				
高体鲷 <i>Seriola dumerili</i> (Risso, 1810)								✓		
眼镜鱼科 Menidae										
眼镜鱼 <i>Mene aculate</i> (Bloch et Schneider, 1801)		✓								
鲆科 Coryphaenidae										
麒麟 <i>Coryphaena hippurus</i> Linnaeus, 1758			✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
石首鱼科 Sciaenidae										
小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i> (Bleeker, 1877)	✓	✓			✓	✓	✓		✓	
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i> (Houttuyn, 1782)					✓	✓	✓	✓	✓	✓
叫姑鱼 <i>Johnius grypotus</i> (Richardson, 1846)					✓				✓	
黑鳃梅童鱼 <i>Collichthys niveatus</i> Jordan et Starks, 1906								✓		
蝠科 Leiognathidae										
鹿斑蝠 <i>Secutor ruconius</i> (Hamilton, 1822)		✓				✓				
笛鲷科 Lutjanidae										
红鳍笛鲷 <i>Lutjanus erythropterus</i> Bloch, 1790								✓		
银鲈科 Gerridae										
短体银鲈 <i>Gerre abbreviatus</i> Bleeker, 1850						✓				
短棘银鲈 <i>Gerre lucidus</i> Cuvier, 1830						✓	✓			
鲷科 Theraponidae										
细鳞鲷 <i>Therapon jarbua</i> (Forskål, 1775)						✓				
鲷 <i>Therapon theraps</i> (Cuvier, 1829)							✓			
鲷科 Sparidae										
犁齿鲷 <i>Evynnis japonicus</i> Tanaka, 1931		✓								
羊鱼科 Mullidae										
条尾绯鲤 <i>Upeneus bensasi</i> (Temminck et Schlegel, 1842)	✓	✓		✓		✓		✓		✓
蝎鱼科 Scorpidae										
细刺鱼 <i>Microcanthus strigatus</i> (Cuvier et Valenciennes, 1831)									✓	
隆头鱼科 Labridae										
粗拟隆头鱼 <i>Pseudolabrus japonicus</i> (Houttuyn, 1782)						✓	✓			✓
雀鲷科 Pomacentridae										
五带豆娘鱼 <i>Abudefduf vaigiensis</i> (Quoy et Gaimard, 1846)						✓			✓	
斑鳍光鳃鱼 <i>Chromis notatus</i> (Temminck et Schlegel, 1843)							✓			
鹰鲷科 Aplodactylidae										
鹰鲷 <i>Goniistius</i> sp.							✓			
拟鲈科 Parapercidae										
六带拟鲈 <i>Parapercis sexfasciata</i> (Temminck et Schlegel, 1843)							✓			
鲷科 Uranoscopidae										
日本鲷 <i>Uranoscopus japonicus</i> Houttuyn, 1782						✓		✓	✓	✓

续附表 Continued

种类 taxon	调查航次 survey voyage									
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5	
	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L
鳄齿鱼科 Champsodontidae										
鳄齿鱼 <i>Champsodon capensis</i> Regan, 1908	√		√	√	√					
鳚科 Blenniidae										
美肩鳚 <i>Omobranchus elegans</i> (Steindachner, 1877)		√								√
矾鳚 <i>Blennius yatabei</i> Jordan et Snyder, 1900										√
玉筋鱼科 Ammodytidae										
玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i> Girard, 1856				√		√				
鲻科 Callionymidae										
绯鲻 <i>Callionymus beniteguri</i> Jordan et Snyder, 1900		√			√	√	√	√	√	
香鲻 <i>Callionymus olidus</i> Günther, 1873				√						
刺尾鱼科 Acanthuridae										
长吻鼻鱼 <i>Naso unicornis</i> (Forskål, 1775)										√
带鱼科 Trichiuridae										
带鱼 <i>Trichiurus haumela</i> (Forskål, 1775)	√	√	√	√	√		√		√	
蛇鲭科 Gempylidae										
蛇鲭 <i>Gempylus serpens</i> Cuvier et Valenciennes, 1829				√						
游棘蛇鲭 <i>Nealotus tripes</i> Johnson, 1865		√								
鲭科 Scombridae										
鲈 <i>Scomber japonicus</i> (Houttuyn, 1782)				√	√	√	√	√	√	
金枪鱼科 Thunnidae										
圆舵鲣 <i>Auxis rochei</i> (Risso, 1810)				√		√		√		√
鲱科 Stromateidae										
银鲱 <i>Pampus argenteus</i> (Euphrasen, 1788)								√		
长鲱科 Centrolophidae										
刺鲱 <i>Psenopsis anomala</i> (Temminck et Schlegel, 1844)						√				
鰕虎鱼科 Gobiidae										
矛尾复鰕虎鱼 <i>Synechogobius hasta</i> (Temminck et Schlegel, 1850)				√		√		√		√
纹缟鰕虎鱼 <i>Tridentiger trionocephalus</i> (Gill, 1858)		√				√				
竿鰕虎鱼 <i>Luciogobius guttatus</i> Gill, 1859				√		√		√		
犬牙细棘鰕虎鱼 <i>Acentrogobius caninus</i> (Cuvier et Valenciennes, 1837)		√				√				
叉牙鰕虎鱼 <i>Apocryptodon bleekeri</i> (Day, 1876)								√		
六丝钝尾鰕虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i> Bleeker, 1853						√				√
鰕虎鱼科 Taenioididae										
中华栉孔鰕虎鱼 <i>Ctenotrypauchen chinensis</i> Steindachner, 1867		√				√				√
鲉形目 Scorpaeniformes										
鲉科 Scorpaenidae										
褐菖鲉 <i>Sebastiscus marmoratus</i> (Cuvier et Valenciennes, 1829)				√		√		√		
许氏平鲉 <i>Sebastes schlegeli</i> (Hilgendorf, 1880)								√		
鲉 gen. sp.						√				
毒鲉科 Synanceiidae										
虎鲉 <i>Minous monodactylus</i> (Bloch et Schneider, 1801)				√						
丝棘虎鲉 <i>Minous pusillus</i> Temminck et Schlegel, 1842		√				√				√
鬼鲉 <i>Inimicus japonicus</i> (Cuvier et Valenciennes, 1829)									√	
前鳍鲉科 Congiopodidae										
虹鲉 <i>Erisphex pottii</i> (Steindachner, 1897)		√		√						

续附表 Continued

种类 taxon	调查航次 survey voyage									
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5	
	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L
鲂鮄科 Triglidae										
绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys kumu</i> (Lesson et Garnot, 1830)	√	√	√	√						
短鳍红娘鱼 <i>Lepidotrigla micropterus</i> Günther, 1873					√	√	√			
鲷科 Platycephalidae										
鲷 <i>Platycephalus indicus</i> (Linnaeus, 1758)							√	√		
六线鱼科 Hexagrammidae										
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i> Jordan et Starks, 1895					√					
鲽形目 Pleuronectiformes										
牙鲆科 Paralichthyidae										
五眼斑鲆 <i>Pseudorhombus pentophthalmus</i> Günther, 1862										√
鲆科 Bothidae										
大斑鲆 <i>Psettina iijimae</i> (Jordan et Starks, 1902)		√					√			√
大鳞短额鲆 <i>Engyprosonon grandisquama</i> (Temminck et Schlegel, 1846)		√		√			√			
青斑鲆 <i>Crossorhombus azureus</i> (Alcock, 1889)		√								
纤羊舌鲆 <i>Arnoglossus tenuis</i> Günther, 1880							√			
鲆 gen. sp.				√		√		√		
鲽科 Pleuronectidae										
虫鲽 <i>Eopsetta grigorjewi</i> (Herzenstein, 1890)							√			
角木叶鲽 <i>Pleuronichthys cornutus</i> (Temminck et Schlegel, 1846)				√	√					
大牙拟庸鲽 <i>Hippoglossoides dubius</i> Schmidt, 1904				√						
鲽 gen. sp.	√									
鲷科 Soleidae										
带纹条鲷 <i>Zebrias zebra</i> (Bloch, 1787)								√		√
鲷 gen. sp.						√		√		
舌鲷科 Cynoglossidae										
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i> Günther, 1878				√	√	√	√	√		√
短吻三线舌鲷 <i>Cynoglossus abbreviatus</i> (Gray, 1832)				√		√		√		
舌鲷 <i>Cynoglossus</i> sp. 1				√						
舌鲷 <i>Cynoglossus</i> sp. 2		√								
日本须鲷 <i>Paraplagusia japonica</i> (Temminck et Schlegel, 1846)							√			
鲑形目 Tetraodontiformes										
刺鲀科 Diodontidae										
六斑刺鲀 <i>Diodon holacanthus</i> Linnaeus, 1758						√		√		√
刺鲀 <i>Diodon</i> sp.						√				
革鲀科 Aluteridae										
丝背细鳞鲀 <i>Stephanolepis cirrhifer</i> (Temminck et Schlegel, 1846)							√		√	
六棱箱鲀科 Aracanidae										
棘箱鲀 <i>Kentrocapros aculeatus</i> (Houttuyn, 1782)						√		√	√	√
鲛鲛目 Lophiiformes										
鲛鲛科 Lophiidae										
黄鲛鲛 <i>Lophius litulon</i> (Jordan, 1902)							√			
躄鱼科 Antennariidae										
躄鱼 <i>Antennarius</i> sp.							√			

注: E. 鱼卵; L. 仔稚鱼

Notes: E. eggs; L. larvae