

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2019.18339

大亚湾鱼卵、仔稚鱼种群特征与环境因子的相关关系

王九江^{1,2}, 刘永², 肖雅元², 王腾², 李纯厚²

1. 浙江海洋大学水产学院, 舟山 316022;

2. 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东省渔业生态环境重点实验室, 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300

摘要: 为了解大亚湾鱼卵、稚仔鱼种群动态变化及其与环境因子的关系, 2015 年采用浅水 I 型浮游生物拖网对大亚湾鱼卵、仔稚鱼进行了 4 个季度的调查, 结果表明, 4 个季度共捕获鱼卵 31361 粒, 仔稚鱼 244 尾。经鉴定分析共有 27 种, 其中鱼卵 19 种, 隶属于 6 目 16 科 18 属; 仔稚鱼 18 种, 隶属于 5 目 15 科 16 属; 鱼卵、仔稚鱼共有种 11 个。鱼卵平均丰度为 614.55 ind/1000 m³, 稚仔鱼的平均丰度为 3.69 ind/1000 m³。鱼卵丰度季节变化由高到低依次为夏季、春季、冬季、秋季; 空间分布显示, 丰度由高到低依次为中央列岛、人工鱼礁区、湾口东岸。鱼卵多样性指数(H')范围为 0.05~2.26, 平均值为 0.86, 稚仔鱼多样性指数(H')范围为 0~2.53, 平均值丰度 0.82; 鱼卵均匀度指数(J)范围为 0.02~0.99, 平均值为 0.50; 稚仔鱼均匀度指数(J)范围为 0~1.00, 平均值为 0.52。根据 Pearson 相关性结果分析表明, 与种群关系最密切的环境因子为温度和溶解氧($P<0.01$)。研究结果显示, 春夏季是大亚湾海域鱼类产卵的重要时期, 中央列岛海域是大亚湾鱼类繁殖的关键区域。

关键词: 渔业资源; 大亚湾; 鱼卵; 稚仔鱼; 环境因子

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2019)01-0014-12

大亚湾是位于大鹏半岛东侧的典型半封闭海湾, 湾内水质优良, 生境类型多样, 是马氏珠母贝的天然采苗场, 也是鲷科等经济鱼类的重要产卵场和育幼场, 因而 1983 年被广东省人民政府划定为省级水产种质资源保护区^[1]。然而, 近几十年来, 由于周边经济发展迅速, 临海工业发展和涉海工程等人类活动已严重影响大亚湾^[2-3], 其生态环境出现持续退化^[4]。同时, 由于全球气候变化、环境污染和过度捕捞等问题的叠加影响, 大亚湾渔业资源种类数逐年减少, 鱼类小型化和低值化趋势明显, 渔业资源呈现持续衰退的趋势^[5]。为促进大亚湾渔业资源的养护, 2007 年在大亚湾西北部杨梅坑水域建成面积为 2.75 km² 的人工鱼礁区, 并持续开展了鲷科鱼类等重要经济种类的

渔业资源增殖放流^[6]。因此, 在大亚湾海域开展渔业资源的调查研究具有十分重要的意义。鱼卵、仔稚鱼不仅生命力脆弱, 容易受环境变动的影响^[7], 而且是研究鱼类补充量和资源变动的重要环节^[8]。因此, 开展大亚湾鱼卵、仔稚鱼的种类和数量研究, 不仅可以了解环境变化对渔业资源的影响, 也能反映出渔业资源变动的情况。

鱼类早期资源对环境极其敏感, 环境变动对其影响较为明显, 如海水酸化影响鱼类胚胎发育以及幼鱼的新陈代谢^[9], 并可通过影响幼鱼嗅觉增加其生存风险^[10]; 当前我国学者在长江口^[11-13]、浙江沿海^[13-14]以及黄海^[15-16]等水域的研究认为, 传统产卵场发生迁移, 鱼卵、仔稚鱼群落结构发生明显变化, 鱼卵仔稚鱼受环境因子的影响显著。大亚

收稿日期: 2018-09-26; 修订日期: 2018-12-05.

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201403008); 国家重点基础研究发展计划项目(2015CB4529004); 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2015TS03).

作者简介: 王九江(1993-), 男, 硕士研究生, 从事海洋生态环境保护研究. E-mail: 704490565@qq.com

通信作者: 李纯厚(1963-), 男, 研究员, 从事水生生物学研究. E-mail: chunhou@scsfri.ac.cn

湾水域虽然开展了饵料、水动力学因子^[17]和温度^[18]等因子对鱼卵、仔鱼影响的研究,但盐度、溶解氧和 pH 等重要环境理化因子与鱼卵、仔稚鱼关系的研究还鲜有报道。为进一步了解大亚湾鱼卵、仔稚鱼的现状,揭示其与环境因子的相关关系,文章依据 2015 年大亚湾春、夏、秋、冬四个季节的调查数据,结合历史资料,分析了该海域不同季节的鱼卵、仔稚鱼种类组成与数量分布及其与环境因子的关系,为进一步探究大亚湾渔业资源变动规律提供基础资料,并为大亚湾渔业资源的可持续利用提供科学依据。

1 材料方法

1.1 调查的航次和站位分布

分别于 2015 年春季(4 月 12 日)、夏季(8 月 13 日)、秋季(10 月 27 日)、冬季(12 月 17 日)租用渔业生产船只,对大亚湾口海域进行了 4 个航次的鱼卵、仔稚鱼定量取样,调查站位分布如图 1。依据大亚湾海域地形地貌环境,将调查区域划分成 3 个海区:大亚湾 I 区(人工鱼礁区),II 区(中央列岛区)和 III 区(湾口东岸区)。其中,中央列岛区域是省级水产种质资源保护区的核心区;人工鱼礁区位于湾口西部;湾口东岸区位于平海煤电温排水口附近。

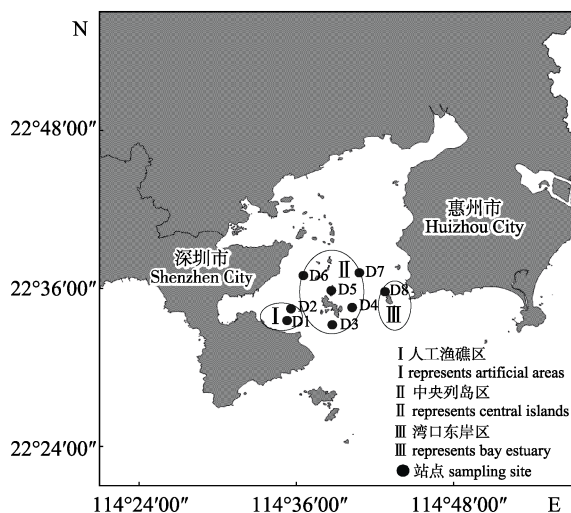


图 1 大亚湾调查站位分布图

Fig.1 Map of sampling sites in Daya Bay

1.2 样品的采集与处理

样品采集按照《海洋生物生态调查技术规

程》^[19],采用浅水 I 型浮游生物拖网(网长 145 cm,网口内径 50 cm,网口面积 0.2 m²),水平拖网 10 min,拖速约为 1.5 kn^[8],所采样品用 5%的福尔马林溶液固定,带回实验室将鱼卵仔稚鱼标本单独挑出分拣,在解剖镜下对各个站点样品进行种类鉴定、个体计数和发育阶段的分析判断。其中种类鉴定根据鱼卵仔稚鱼的形态特征^[20-21]进行分类统计。鱼卵仔稚鱼的密度以水平拖网捕获的总个体数除以滤水量计算,滤水量=拖速×拖网时间×网口面积。样品的采集和分析参照《中国海洋调查规范》^[22]的第六部分:海洋生物调查。

1.3 数据分析方法

Shannon-wiener 多样性指数(H')计算公式如下^[23]:

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

Pielou 均匀度指数(J)计算公式如下^[24]:

$$J = \frac{H'}{\ln S}$$

式中, P_i 为第 i 种个体的比例, $P_i = n_i/N$, N 为样品总个体数, n_i 为第 i 种个体数, S 为总种数, H' 为多样性指数。

本研究用 surfer11.0 软件对有关地理图片进行绘画,使用 SPSS22.0 软件计算鱼卵仔稚鱼与环境参数的相关性,鱼卵仔稚鱼与环境因子分析采用软件 R-3.5.1 中的 ggplot2、gridExtra 和 lubridata 3 个程序包计算。

2 结果与分析

2.1 大亚湾鱼卵、仔稚鱼种群特征

2.1.1 种类组成 2015 年 4 个季度共采获鱼卵 31361 粒,仔稚鱼 244 尾。经鉴定分析共有 27 种,其中鱼卵有 19 种,隶属于 6 目 16 科 18 属,仔稚鱼有 18 种,隶属于 5 目 15 科 16 属,其中有 11 个种是鱼卵、仔稚鱼共有,分别属于鳉属(*Sillago*)、鲹科(*Carangidae* sp.)、小公鱼属(*Stolephorus*)、小沙丁鱼(*Sardinella* sp.)、羊鱼科(*Mullidae* sp.)、鲷科(*Sparidae* sp.)、鲛(*Liza haematocheila*)、鲻科(*Mugilidae* sp.)、鲻属(*Callionymus*)、鰕科(*Blenniidae* sp.)、金线鱼科(*Nemipteridae* sp.)(表 1 和表 2)。

表 1 大亚湾仔稚鱼种类名录
Tab. 1 Catalogue of fish larvae species in Daya Bay

稚仔鱼种类名录 species of fish larvae	I 区 area I		II 区 area II					III 区 area III
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
鰺科 Blenniidae sp.	▲★	▲●★	★	▲●★	▲●★	▲★	▲◆	▲★
鲷科 Sparidae sp.	★	▲●	▲★	▲●	▲	★	▲	★
虾虎鱼科 Gobiidae sp.		▲		▲			▲●★	▲●
美肩鳃鲷 <i>Omobranchus elegans</i>		▲		▲	▲	★	▲	▲
小沙丁鱼 <i>Sardinella</i> sp.	▲	▲	▲		▲		▲	▲
鲛 <i>Liza</i> sp.	▲		▲				▲	
鲂鲷科 Triglidae sp.				▲				
羊鱼科 Mullidae sp.					▲			
鲉科 Scorpaenidae sp.							▲	
刺尾鱼科 Acanthuridae sp.							▲	
小公鱼 <i>Stolephorus</i> sp.					●			▲
雀鲷科 Pomacentridae sp.				●				
鲻科 Mugilidae sp.								●
鳀 <i>Sillago</i>	◆★		★		◆			
金线鱼科 Nemipteridae sp.					◆			
天竺鲷科 Apogonidae sp.				★				
鲈科 Carangidae sp.				★				★
鲷 <i>Callionymus</i>						★	★	

注：▲代表春季出现，●代表夏季出现，◆代表秋季出现，★代表冬季出现。
Note: Different shapes represent appearance in different seasons. ▲spring ● summer ◆ autumn ★ winter.

表 2 大亚湾鱼卵种类名录
Tab. 2 Catalogue of fish eggs in Daya Bay

鱼卵种类名录 species of fish eggs	I 区 area I		II 区 area II					III 区 area III
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
鳀属 <i>Sillago</i> sp.	▲●◆★	▲●◆★	▲●◆	▲●◆★	▲●◆★	▲●◆★	▲●◆★	▲●◆
小公鱼属 <i>Stolephorus</i>	▲◆★	▲◆★	▲	●	▲◆★	◆	▲◆	▲◆
鲷科 Sparidae sp.	▲★	▲★	▲★	★	▲●★	★	★	●★
梭鲷属 <i>Thryssa</i>		▲	▲					
舌鲷属 <i>Cynoglossus</i>		▲	▲	◆	◆	▲	▲	▲
鲈科 Carangidae sp.	▲	▲		▲	▲	▲●	●	▲●
鲛 <i>Liza haematocheila</i>	▲	▲	◆					
鳄齿鱼科 Champsodontidae sp.		●	●	●	●	●	●	
鲻科 Mugilidae sp.	●	●	●★	●	●	●	●	●
鲷属 <i>Callionymus</i>	★	★	★	★		★	★	★
鲭科 Scombridae sp.	★	★	★					●
鰺科 Blenniidae sp.		★			★			
小沙丁鱼 <i>Sardinella</i> sp.	▲	★	▲★	▲★	▲	▲★	★	▲★
羊鱼科 Mullidae sp.	▲						▲	▲
鳗鲡目 Anguilliformes sp.				●				
狗母鱼科 Synodontidae sp				●◆	●		●	
金线鱼科 Nemipteridae sp.					◆			
笛鲷科 Lutjanidae sp.							▲	
带鱼属 <i>Trichiurus lepturus</i>								★

注：▲代表春季出现，●代表夏季出现，◆代表秋季出现，★代表冬季出现。
Note: Different shapes represent appearance in different seasons. ▲spring ● summer ◆ autumn ★ winter.

鱼卵、仔稚鱼的种类季节交替明显。鱼卵种类中鳀属、小公鱼属四季都有发现, 鲷科仅秋季未发现, 鲷科、鰺科、带鱼属(*Trichiurus lepturus*)仅在冬季有发现, 鰐齿鱼科(*Champsodontidae* sp.)和鳗鲡目(*Anguilliformes* sp.)鱼卵仅在夏季出现; 仔稚鱼种类中仅鰺科在四季都有发现, 在秋季都没有发现鰺科和虾虎鱼科(*Gobiidae* sp.)仔稚鱼, 仅在春季出现有 6 种: 分别是小沙丁鱼、鲛、鲂鲱科(*Triglidae* sp.)、羊鱼科、鲈科(*Scorpaenidae* sp.)、刺尾鱼科(*Acanthuridae* sp), 而雀鲷科(*Pomacentridae* sp.)、鲷科仅在夏季出现, 金线鱼科仅在秋季出现, 天竺鲷科(*Apogonidae* sp.)、鲈科、鲷科仅出现在冬季。

中央列岛区是绝大部分鱼类繁殖的水域。鱼卵种类中仅有带鱼属未在中央列岛出现, 只出现在中央列岛的有 4 种: 分别是鳗鲡目、狗母鱼科(*Synodontidae* sp.)、金线鱼科、笛鲷科, 带鱼属只出现在湾口东岸区, 而其他种类在 3 个区域都有分布; 仔稚鱼种类中只有鲷科未在中央列岛出现, 只在中央列岛出现的有鲂鲱科、羊鱼科、鲈科、

刺尾鱼科、雀鲷科、金线鱼科、天竺鲷科、鲷科 8 种, 而鲷科只在湾口东岸区有分布。

2.1.2 数量分布 本次调查结果显示, 夏季中央列岛 D6 站位鱼卵丰度最大, 为 4905.35 ind/1000 m³; 春季鱼卵种类最多, 有 10 种; 鱼卵平均丰度夏季最大, 为 1214.85 ind/1000 m³。春季中央列岛 D7 站位仔稚鱼丰度最大, 为 19.28 ind/1000 m³; 春季仔稚鱼种类最多, 有 11 种; 春季仔稚鱼平均丰度最大, 为 9.13 ind/1000 m³ (表 3)。

从时间尺度来看, 鱼卵平均丰度夏季>春季>秋季>冬季, 呈现春夏大于秋冬的趋势, 种类数秋季最少, 仅 6 种, 平均丰度与种类数的变化趋势相同; 仔稚鱼平均丰度春季>冬季>夏季>秋季, 不管是种类数还是平均丰度都是秋季最低, 分别为 3 种和 0.66 ind/1000 m³, 种类变化趋势与丰度相同, 鱼卵丰度夏季最大, 冬季最小; 仔稚鱼丰度春季最大秋季最小。鱼卵和仔稚鱼种类变化趋势一致, 秋季最低, 春季最高(图 2)。说明春夏是大亚湾水域鱼类的主要繁殖季节。

表 3 大亚湾鱼卵、仔稚鱼丰度
Tab. 3 Abundance of fish eggs and larvae in the Daya Bay

区域和站位 area and station		春季 spring		夏季 summer		秋季 autumn		冬季 winter	
		鱼卵 egg	仔稚鱼 larva	鱼卵 egg	仔稚鱼 larva	鱼卵 egg	仔稚鱼 larva	鱼卵 egg	仔稚鱼 larva
I 区 area I	D1	71.63	16.53	179.01	0	5	0.5	93.8	2
	D2	260.33	5.51	576.82	2.06	1.5	0	40.3	0.2
II 区 area II	D3	545.45	5.51	735.25	0	197.9	0	150.9	5.9
	D4	727.27	5.51	967.08	2.06	302.7	0	27.3	1.5
	D5	1190.08	11.71	297.67	2.74	42.8	1.2	58.3	2.1
	D6	4264.46	0.69	4905.35	0	26.4	0	55.3	3.5
	D7	504.13	19.28	1061.73	0.69	705.6	3.6	188.3	14.5
III 区 area III	D8	268.6	8.26	995.88	0	81.6	0	137	2.7
平均丰度 average abundance		978.99	9.13	1214.85	0.94	170.44	0.66	93.9	4.05

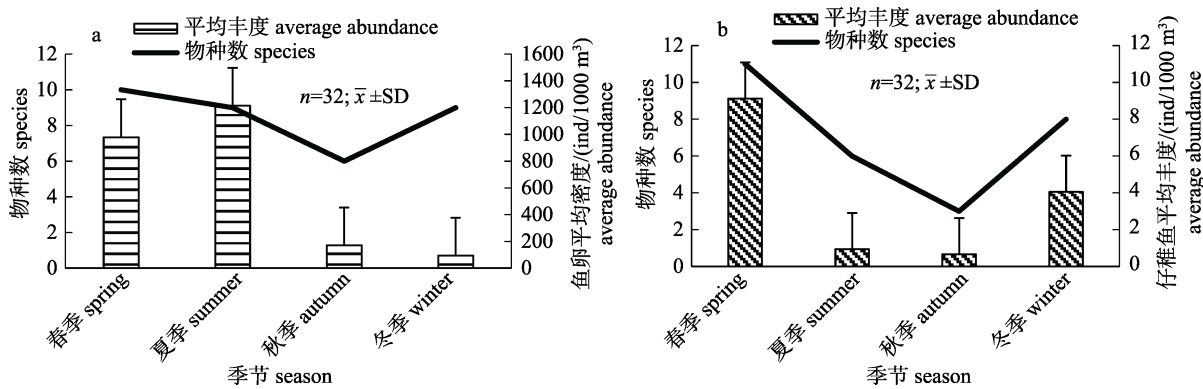


图 2 大亚湾鱼卵(a)、仔稚鱼(b)平均丰度及物种数
Fig. 2 Average abundance and species number of fish eggs (a) and larvae (b) in Daya Bay

从 3 个区域来看, 鱼卵丰度中央列岛>湾口东岸>人工鱼礁, 春季大于平均丰度的站位中央列岛有 2 个站位 D5、D6, 夏季有 D6, 秋季有 3 个站位 D3、D4、D7, 冬季有 2 个站位 D3、D7, 而其他区域大于平均丰度的仅有冬季湾口东岸区的 D8 站位; 仔稚鱼丰度中央列岛>人工鱼礁>湾口东岸, 中央列岛平均丰度最大 4.02 尾, 春季大于平均丰度的站位中央列岛有 2 个站点 D5、D7, 夏季有 2 个站点 D4、D5, 秋季仅有 1 个站位 D5, 冬季有 2 个站位 D3、D7, 而另外 2 个区域仅人工鱼礁区 2 个站位春季 D1、夏季 D2。位于水产种质资源保护区核心区的中央列岛鱼卵、仔稚鱼数量最大。

2.1.3 多样性和均匀度分析 从整体来看, 大亚湾全年鱼卵多样性指数为 1.17, 鱼卵多样性指数

湾口东岸区>人工鱼礁>中央列岛, 在人工鱼礁区有最大值 2.26。全年仔稚鱼多样性指数为 1.98, 仔稚鱼多样性指数中央列岛>湾口东岸区>人工鱼礁区, 在中央列岛站位 D7 有最大值 2.53。鱼卵多样性指数春季最大(1.42), 秋季最小(0.48), 仔稚鱼多样性指数春季最大(2.74), 秋季最小(0.86), 多样性指数变化趋势与鱼卵相同(表 4)。

大亚湾全年鱼卵均匀度指数为 0.41, 鱼卵均匀度指数湾口东岸区>人工鱼礁>中央列岛, 在人工鱼礁区有最大值 0.99。全年仔稚鱼多样性指数为 0.70, 仔稚鱼均匀度指数湾口东岸区>人工鱼礁>中央列岛, 在中央列岛站位 D4、D5 有最大值 1.00。鱼卵均匀度指数冬季最大为 0.46, 秋季最小仅 0.27, 仔稚鱼均匀度指数春季最大 0.79, 冬季最小 0.57, 均匀度指数变化趋势与鱼卵不相同(表 5)。

表 4 大亚湾鱼卵、仔稚鱼多样性指数
Tab. 4 Diversity indexes of fish eggs and larvae in Daya Bay

区域和站位 area and station		春季 spring		夏季 summer		秋季 autumn		冬季 winter		总体 total	
		鱼卵 egg	仔稚鱼 larva	鱼卵 egg	仔稚鱼 larva	鱼卵 egg	仔稚鱼 larva	鱼卵 egg	仔稚鱼 larva	鱼卵 egg	仔稚鱼 larva
I 区 area I	D1	2.26	1.19	0.19	0.00	0.69	0.86	0.87	1.06	1.43	1.39
	D2	2.23	2.16	0.36	0.92	0.64	0.00	0.63	0.00		
I 区总体 total of area I		1.77	1.17	0.33	0.64	0.69	0.00	0.81	0.68		
II 区 area II	D3	1.79	1.41	0.27	0.00	0.05	0.00	0.70	0.61	1.06	1.87
	D4	0.25	2.00	0.73	1.58	0.02	0.00	1.12	1.46		
	D5	1.86	1.78	0.59	1.00	1.04	0.00	0.64	0.00		
	D6	0.45	0.00	0.69	0.00	0.62	0.64	0.34	1.62		
	D7	1.37	2.53	0.79	0.00	0.54	0.00	0.79	0.16		
II 区总体 total of area II		0.89	1.84	0.72	1.49	0.49	0.80	0.90	1.07		
III 区 area III	D8	1.70	2.19	0.96	0.37	0.10	0.00	0.87	1.38	1.53	1.60
总体 total		1.42	2.74	0.74	2.02	0.48	0.86	0.95	1.71	1.17	1.98

表 5 大亚湾鱼卵、仔稚鱼均匀度指数
Tab. 5 Evenness indexes of fish eggs and larvae in Daya Bay

区域和站位 area and station		春季 spring		夏季 summer		秋季 autumn		冬季 winter		总体 total	
		鱼卵 egg	仔稚鱼 larva	鱼卵 egg	仔稚鱼 larva	鱼卵 egg	仔稚鱼 larva	鱼卵 egg	仔稚鱼 larva	鱼卵 egg	仔稚鱼 larva
I 区 area I	D1	0.80	0.75	0.27	0	0.99	0	0.54	0.67	0.56	0.67
	D2	0.79	0.93	0.33	0.92	0.92	0	0.35	0		
I 区总体 total of area I		0.81	0.66	0.30	0.92	1	0	0.45	0.62		
II 区 area II	D3	0.69	0.89	0.25	0	0.07	0	0.44	0.39	0.38	0.66
	D4	0.16	0.86	0.41	1.00	0.02	0	0.81	0.92		
	D5	0.80	0.77	0.37	1.00	0.75	0.92	0.46	0		
	D6	0.23	0.00	0.50	0	0.89	0	0.25	0.81		
	D7	0.59	0.84	0.49	0	0.79	0	0.57	0.16		
II 区总体 total of area II		0.40	0.79	0.35	0.93	0.27	0.73	0.46	0.52		
III 区 area III	D8	0.66	0.94	0.59	0.37	0.14	0	0.63	0.87	0.64	0.89
总体 total		0.43	0.79	0.34	0.78	0.27	0.78	0.46	0.57	0.41	0.70

2.2 鱼卵、仔稚鱼与环境因子的关系

2.2.1 鱼卵、仔稚鱼与环境因子的相关性 本次调查, 选取了温度 T (temperature)、盐度 S (salinity)、叶绿素 Chl (chlorophyll)、悬浮物 SM (suspended matter)、 pH 和溶解氧 DO (dissolved oxygen) 等因素与鱼卵种类、鱼卵丰度和仔稚鱼种类、仔稚鱼丰度进行相关性比较研究。结果表明, 在本次调查中, 鱼卵种类与海水温度相关性极显著($P<0.01$), 与溶解氧具有显著的相关性($P<0.05$); 鱼卵丰度与 pH 具有显著的相关性($P<0.05$); 稚仔鱼种类与温度、溶解氧有极显著的相关性($P<0.01$), 与悬浮物有显著的相关性($P<0.05$); 稚仔鱼丰度与温度、溶解氧具

有极显著相关性($P<0.01$)。表底层温度与溶解氧是影响鱼卵稚仔鱼的主要原因, 同时盐度、悬浮物和 pH 等环境因子对鱼卵、仔稚鱼具有显著影响(表 6)。

2.2.2 环境因子与鱼卵、仔稚鱼的关系 调查温度在 $21\sim 27^{\circ}C$ 之间, 与温度(T)呈负相关关系, 温度越高鱼卵种类越少, 在约为 $21^{\circ}C$ 时有最大值, 在约 $27^{\circ}C$ 处有最小值; 溶解氧(DO)与鱼卵呈正相关关系, 在溶解氧 $4.5\sim 7.5\text{ mg/L}$ 范围内, 溶解氧浓度越高鱼卵种类越多, 在浓度约为 7.0 mg/L 处鱼卵种类最多; 与盐度(S)的相关性不显著; 在调查海域 pH 范围内, 鱼卵丰度与 pH 呈负相关关系, pH 越大鱼卵丰度越低(图 3)。

表 6 大亚湾鱼卵、仔稚鱼与环境参数间的 Pearson 相关系数
Tab. 6 Pearson correlation coefficients between fish eggs and larvae and environmental factors in Daya Bay

项目 item	相关关系 relationship	环境参数 environmental factor					
		温度 temperature	盐度 salinity	叶绿素 chlorophyll	悬浮物 suspended matter	pH	溶解氧 dissolved oxygen
鱼卵种类 egg species	相关性系数 correlation coefficient	-0.474**	0.012	0.005	-0.170	-0.226	0.414*
	显著性 significance	0.006	0.950	0.976	0.352	0.213	0.018
鱼卵丰度 egg abundance	相关性系数 correlation coefficient	0.172	0.306	0.316	-0.063	-0.377*	-0.057
	显著性 significance	0.347	0.088	0.078	0.733	0.033	0.756
仔稚鱼种类 larva species	相关性系数 correlation coefficient	-0.552**	-0.184	0.137	-0.380*	-0.274	0.614**
	显著性 significance	0.001	0.315	0.455	0.032	0.128	0.000
仔稚鱼丰度 larva abundance	相关性系数 correlation coefficient	-0.533**	-0.233	-0.061	-0.274	-0.024	0.471**
	显著性 significance	0.002	0.200	0.740	0.129	0.898	0.007

注: *表示相关性显著($P<0.05$), **表示相关性极显著($P<0.01$).
Note: * denotes significant correlation ($P<0.05$). ** denotes extremely significant correlation ($P<0.01$).

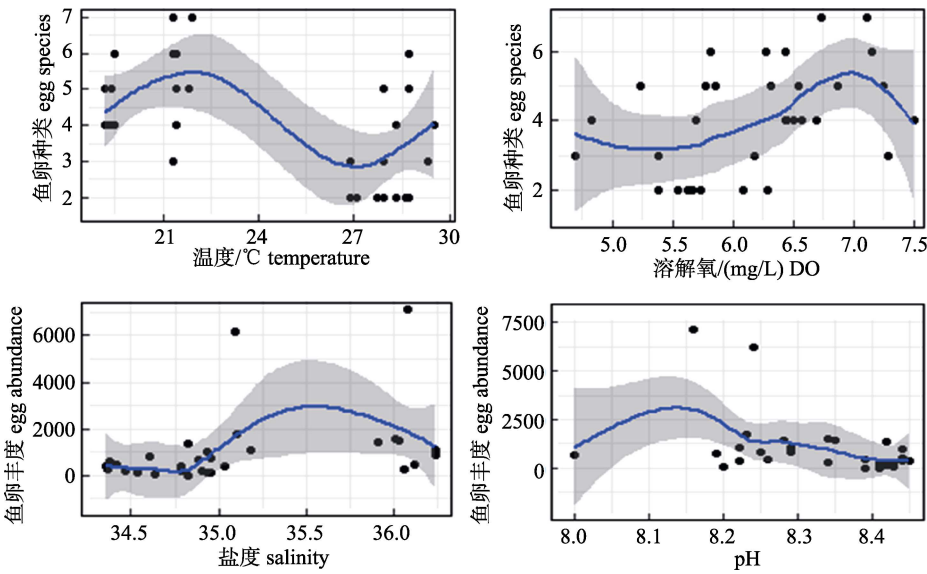


图 3 大亚湾鱼卵与环境因子相关关系
Fig. 3 Correlation between fish eggs and environmental factors in Daya Bay

溶解氧在调查海域范围内,溶解氧(DO)<7.0 mg/L时,与仔稚鱼种类和丰度呈正相关($P<0.05$),反之呈负相关关系,并且不管是仔稚鱼种类还是丰度在溶解氧约为 6.8 mg/L 处有最大值,说明在该海域溶解氧在 6.8~7.0 mg/L 时对仔稚鱼的生长

发育有利;在调查海域温度范围内,仔稚鱼种类与温度呈负相关关系,说明在该海域温度是制约仔稚鱼分布的因素;在本次调查中,悬浮物(SM)与仔稚鱼呈负相关关系($P<0.05$),悬浮物越高,仔稚鱼种类越少(图 4)。

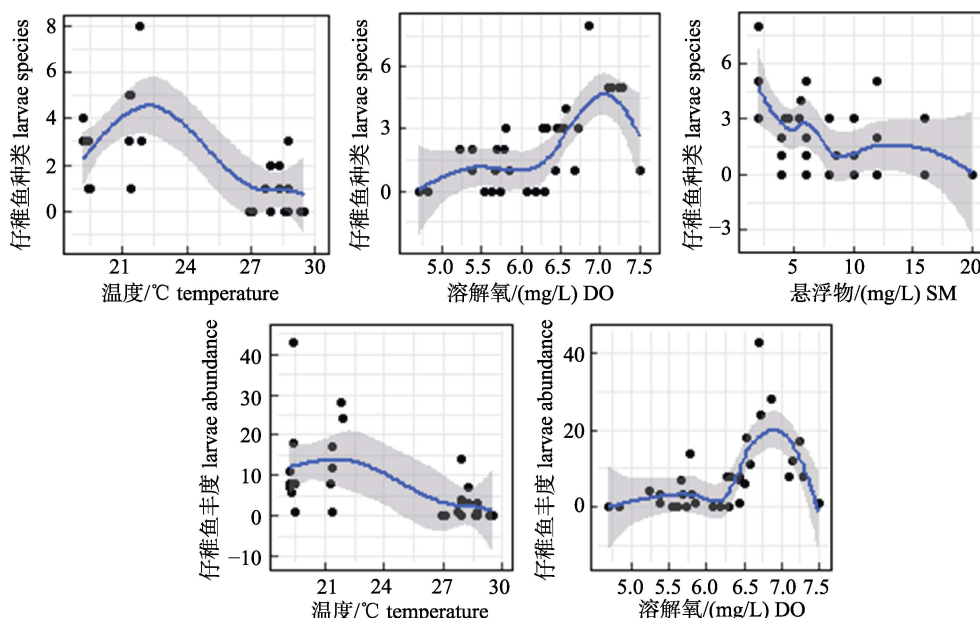


图 4 大亚湾仔稚鱼种类及丰度与环境因子的相关关系

Fig. 4 Correlation between fish larvae and environmental factors in Daya Bay

3 讨论

3.1 大亚湾鱼卵、仔稚鱼种群特征

本次调查鱼卵、仔稚鱼种类数与 1994—1995 年^[18]的调查结果相接近,低于 1982—1983 年的 4 个航次的调查结果^[1](表 7),一方面是大亚湾是南海北部一个较大的半封闭性深水海湾,生态环境受到了人类活动干扰^[2],并且正在经历着快速的退化过程^[4],而海洋环境是海洋生物的生产基础,对海洋生物生长的各个阶段都具有重要影响^[25];另一方面是因为 1982—1983 年^[1]调查范围大于本次研究。同时也说明大亚湾渔业资源已经出现了衰退,王雪辉等^[5]认为在 1980—2007 年期间大亚湾海域鱼类的种类数呈逐年减少的趋势,由 20 世纪 80 年代的 157 种减少至 2004—2005 年的 107 种,减少了 50 种,但科目数变化不大,这与本研究结果相似,1994—2015 期间种类数相差不大,在 30 种上下波动,说明在 1994—2015 年间资源衰退速度

变缓,这可能与大亚湾成立水产资源自然保护区和近年来各级政府加大对它的保护有关^[6, 26-27]。

物种组成方面,研究结果不同于 1994—1995 年^[17]、1982—1983 年^[1]和 2003—2005 年^[8]的调查结果:对于鱼卵而言,1982—2005 年鱼卵主要以鳀科和鲱科为主,但每年的比例不一样,在 1982—1983 年^[1]和 1994—1995 年^[18]调查中具有绝对优势的鳀科和鲱科在本次调查所占的比例大幅下降,2015 年则以鳀属、鲱科、鲷科为主,而鳀科在本次调查中占有绝对优势,从 1982 到 2015 年间鱼卵种类发生明显的变化;对于稚仔鱼而言,小沙丁鱼的比例由 59.2%下降到 10.25%,而鲷科从非关键物种到占有最大比例。因此,大亚湾海域在 1982—2015 年间鱼类早期资源优势种群发生了更替,现阶段外界环境对渔业资源影响较大,应该特别注重对于经济鱼种的保护。

鱼卵和仔稚鱼丰度最大的季节分别是夏季和春季,所以大亚湾主要鱼类繁殖期在春季和夏季;

按区域中央列岛区最高,湾口东岸区次之,人工鱼礁区最低,表明中央列岛是大亚湾重要的产卵场,与 1994—1995 年^[18]的研究结果一致。本次调查仔稚鱼 244 尾,与 1994—1995 年^[18]调查数据相比,仅相当于后者的 4.87%,一方面可能与此次调查站点布置太少有关,需要进一步的实验验证;另一方面反映出大亚湾渔业资源衰退严重,需要加大保护力度。

表 7 近年来大亚湾鱼卵稚仔鱼调查数据
Tab. 7 Survey data of juvenile fish eggs and larvae in Daya Bay in recent years

调查时间 survey time	种类数 species	鱼卵丰度 fish eggs abundance	稚仔鱼丰度 larvae abundance	鱼卵种类 species of fish eggs	稚仔鱼种类 species of juvenile fish	参考文献 reference
2015	27	31361	244	鳀属 <i>Sillago</i> sp. (73.03%)、 鲷科 <i>Mugilidae</i> sp. (6.71%)、 鲷科 <i>Sparidae</i> sp (5.64%)	鲷科 <i>Blenniidae</i> sp. (31.56%) 鲷 <i>Callionymus</i> sp. (19.67%) 鲷科 <i>Sparidae</i> sp (12.70%)	本研究 current study
2004—2005		21052		鲷科 <i>Leiognathidae</i> (50.3%)、 斑鲷 <i>Clupanodon punctatus</i> (17.3%)、 小沙丁鱼 <i>Sardinella</i> sp. (6.5%)		[8]
2003—2004		14643		鲷科 <i>Leiognathidae</i> sp. (74.1%)、 褐鲷 <i>Sebastiscus marmoratus</i> (7.0%)、 小公鱼 <i>Stolephorus</i> sp. (3.0%)		
1994—1995	28	29959	4750	小沙丁鱼 <i>Sardinella</i> sp. (64.7%)、 鲷科 <i>Leiognathidae</i> sp. (28.1%)	小沙丁鱼 <i>Sardinella</i> sp. (59.2%) 鲷科 <i>Leiognathidae</i> sp. (11.7%) 眶棘双边鱼 <i>Ambassis gymnocephalus</i> (9.2%)	[18]
1982—1983	46	30425	1919	鳀科 <i>Engraulidae</i> sp. (62.2%)、 鲷科 <i>Sparidae</i> sp (15.9%)、 鲱科 <i>Clupeidae</i> sp.(9.0%)	鳀科 <i>Engraulidae</i> sp. (29.4%) 鰕虎鱼科 <i>Gobiidae</i> sp. (25.8%) 鲱科 <i>Clupeidae</i> sp. (10.6%)	[1]

3.2 大亚湾鱼卵和仔稚鱼与环境因子的关系

海水是海洋生物的生存环境,温度、盐度、溶解氧、悬浮物和 pH 等是海水环境的几个基本要素,鱼类生命活动的各个阶段都受到海水环境的影响,Miller 等^[9]认为早期渔业资源生命脆弱,容易受到环境变化的影响,因此,早期鱼类资源的生长发育以及鱼卵孵化更依赖海水环境。

温度主要是通过对幼鱼代谢^[28]、运动^[29]和基因表达^[30]以及鱼卵的孵化^[31]来影响鱼卵、仔稚鱼的分布。本研究结果显示,在 21~27℃时鱼卵、仔稚鱼与温度都呈显著的负相关关系,这与长吻鲷鱼卵孵化试验^[32]和象山港仔稚鱼^[14]的研究结论相似,因为在适宜温度范围内,温度越高鱼卵孵化时间越短,则在高温时以卵形式存在的个体较少,而长时间高温可能对鱼类和仔稚鱼的生长不利,容易造成死亡率上升而使鱼卵数量下降,鱼卵仔稚鱼的多样性指数在春冬大于夏秋,这是由于适宜的温度促进幼鱼的代谢和运动,进而影响

鱼卵、仔稚鱼的生长发育,不管是仔稚鱼数量还是种类都是春季最高,而鱼卵数量是夏季最高。夏季仔稚鱼的饵料丰富,鱼卵数量最多说明鱼卵数量还与其他因素有关,也说明春夏季节更适合鱼类繁殖。

盐度主要是通过调节渗透压^[33]、肠道酶活性^[34]以及影响基因表达^[35]来影响鱼卵、仔稚鱼的生命活动。本研究认为盐度对鱼卵、仔稚鱼的影响趋势不明显,与宋秀凯等^[36]的研究结果不同。这是由于本次调查采集的主要种类多鳞鳀、鲷科等是广盐性鱼类对盐度的耐受性好,在海马实验中也发现盐度变化对海马的基因表达产生影响而对其生存基本没有影响^[36]。因此,盐度通过渗透压影响鱼卵孵化,通过肠道酶活性来影响仔稚鱼的代谢。

酸碱度(pH)主要是通过影响仔稚鱼的活力^[37]和嗅觉^[10]等来影响幼鱼的生长发育。本研究认为,在 pH≥8.1 时,酸碱度与鱼卵、仔稚鱼丰度呈负相关关系,且在 8.1~8.2 处有最大值。然而有学者

研究表明海水酸化会影响幼鱼嗅觉,降低鱼类觅食从而增加幼鱼的生存风险^[10],海水酸化还会影响鱼类的活动能力,运动能力下降被捕食概率增加,这与在 $\text{pH}<8.1$ 时的拟合结果相似。因此,仔稚鱼存在一个最适 pH ,当 pH 大于或者小于该值对仔稚鱼的生长发育都不利,需要进一步的实验室研究并结合现场数据分析。

溶解氧对水生生物至关重要,对幼鱼的代谢效率、能量转换效率和生长速率的行为产生影响。本研究认为溶解氧与鱼卵仔稚鱼的丰度具有极显著正相关关系,这与肖瑜璋等^[38]在研究珠江口鱼卵、仔稚鱼得出的结论一致。春季在中央列岛 D7 站位有最大的仔稚鱼丰度 $19.28 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$,并且春夏季的中央列岛 D6 站位采集的鱼卵丰度都超过 $4000 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$,这是因为中央列岛 D6、D7 站位附近有一个海藻场能够满足鱼卵、仔稚鱼对氧气、食物以及躲避天敌的需求,在春季人工渔礁区的 D1 站位仔稚鱼丰度 $16.53 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$,说明人工渔礁对于周围环境的改善起到一定的作用。因此,溶解氧通过提高仔稚鱼能量转换效率来提高仔稚鱼的生长速率,通过促进鱼卵的能量转换效率从而促进鱼卵孵化。鱼卵、仔稚鱼在中央列岛的密度最大,因为中央列岛环境复杂,具有丰富海藻等绿色植物,溶解氧浓度较高,更适宜鱼卵、仔稚鱼的生长发育。

悬浮物对水生生物幼体的摄食和发育^[39]以及鱼卵孵化^[40]等都有一定的影响。本研究认为悬浮物对仔稚鱼具有极显著的负相关关系,这与肖瑜璋等^[38]的研究是一致的。悬浮物过高容易干扰幼鱼摄食,影响幼鱼的捕食效率不利于其生长发育,悬浮物过高也容易阻碍鱼卵与外界能量交换从而干扰鱼卵孵化。根据调查发现秋季大亚湾海水较浑浊,这也证明了悬浮物不利于鱼卵仔稚鱼的生长发育。

从以上几个环境因子对鱼卵、仔稚鱼的相关性分析可知,在鱼类生长发育的过程中有多个环境因子共同对其产生影响,不同的生命阶段有不同的环境因子起主导作用。在鱼卵孵化阶段起主要作用的环境因子是温度、溶解氧、盐度和 pH ,在仔稚鱼生长发育阶段起主要作用的是温度、悬浮

物和溶解氧。

参考文献:

- [1] Xu G Z. Dayawan Environment and Resources[M]. Hefei: Anhui Science & Technology Publishing House, 1989. [徐恭昭. 大亚湾环境与资源[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1989.]
- [2] Wang Z D, Lian J S, Hu J X, et al. Characteristics of degraded ecosystem in Daya Bay China[J]. Ecological Science, 2003, 22(4): 313-320. [王肇鼎, 练健生, 胡建兴, 等. 大亚湾生态环境的退化现状与特征[J]. 生态科学, 2003, 22(4): 313-320.]
- [3] Hou X Y, Zhang H, Li D, et al. Development trend, environmental and ecological impacts, and policy recommendations for Bohai Sea reclamation[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(9): 3311-3319. [侯西勇, 张华, 李东, 等. 渤海围填海发展趋势、环境与生态影响及政策建议[J]. 生态学报, 2018, 38(9): 3311-3319.]
- [4] Wang Y S, Wang Z D, Huang L M. Environment changes and trends in Daya Bay in recent 20 years[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2004, 23(5): 85-95. [王友绍, 王肇鼎, 黄良民. 近 20 年来大亚湾生态环境的变化及其发展趋势[J]. 热带海洋学报, 2004, 23(5): 85-95.]
- [5] Wang X H, Du F Y, Qiu Y S, et al. Variations of fish species diversity, faunal assemblage, and abundance in Daya Bay in 1980-2007[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(9): 2403-2410. [王雪辉, 杜飞雁, 邱永松, 等. 1980—2007 年大亚湾鱼类物种多样性、区系特征和数量变化[J]. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2403-2410.]
- [6] Chen P M, Jia X P, Li C H, et al. Evaluation of proliferation and release effect of *Sparus macrocephalus* in Daya Bay[C]//China Fisheries Society Annual Meeting and Fisheries Microecological Regulation Technology Forum, 2007. [陈丕茂, 贾晓平, 李纯厚, 等. 大亚湾真鲷增殖放流效果评估[C]//中国水产学会学术年会暨水产微生态调控技术论坛, 2007.]
- [7] 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[J]. 动物学报, 2006, 52(1): 28-44.]
- [8] Lin Z J, Wang X H, Jiang Y E. Distribution and species composition of fish eggs in Daya Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(3): 543-550. [林昭进, 王雪辉, 江艳娥. 大亚湾鱼卵数量分布及种类组成特征[J]. 中国水产科学, 2010, 17(3): 543-550.]
- [9] Miller B S, Kendall A W. Early Life History of Marine

- Fishes[M]. California: University of California Press, 2009.
- [10] Munday P L, Dixon D L, Donelson J M, et al. Ocean acidification impairs olfactory discrimination and homing ability of a marine fish[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(6): 1848-1852.
- [11] Tseng Y C, Hu M Y, Stumpp M, et al. CO₂-driven seawater acidification differentially affects development and molecular plasticity along life history of fish (*Oryzias latipes*)[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2013, 165(2): 119-130.
- [12] Liu S H, Wang J H, Liu C C, et al. Inter-annual variation in pelagic fish egg, larval, and juvenile assemblages during summer in the Yangtze River Estuary, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(21): 7190-7197. [刘守海, 王金辉, 刘材材, 等. 长江口水域夏季鱼卵和仔稚鱼年间变化[J]. 生态学报, 2015, 35(21): 7190-7197.]
- [13] Chen Y G, Mao C Z, Lin N, et al. Influence of abiotic factors on spatiotemporal patterns of larval fish assemblages in the surf zones of the Yangtze River estuary and Hangzhou Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(4): 780-790. [陈渊戈, 毛成贵, 林楠, 等. 长江口和杭州湾碎波带仔稚鱼群聚时空分布特征及相关环境因子分析[J]. 中国水产科学, 2015, 22(4): 780-790.]
- [14] Wang Y T, Li S F, Yang L L, et al. Species composition of larval and juvenile fish in the Xiangshan Bay in spring and summer[J]. Marine Fisheries, 2017, 39(3): 286-296. [王宇坛, 李圣法, 杨林林, 等. 象山港春、夏季仔稚鱼种类组成结构特征[J]. 海洋渔业, 2017, 39(3): 286-296.]
- [15] Xiao H H, Zhang C L, Xu B D, et al. Spatial pattern of ichthyoplankton assemblage in the coastal waters of central and southern Yellow Sea in spring[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2017, 39(8): 34-47. [肖欢欢, 张崇良, 徐宾铎, 等. 黄海中南部近岸海域春季鱼类浮游生物群落空间格局研究[J]. 海洋学报, 2017, 39(8): 34-47.]
- [16] Peng L, Zuo T, Shi Y Y, et al. Fatty acid composition of size-fractionated plankton during winter and spring in the Yellow Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(5): 1205-1216. [彭亮, 左涛, 时永强, 等. 冬、春季黄海不同粒级浮游生物的脂肪酸组成[J]. 中国水产科学, 2016, 23(5): 1205-1216.]
- [17] Wang L G, Li Y F, Du F Y, et al. Zooplankton community characteristics and impact on ichthyoplankton in artificial reefs and island reefs of Daya Bay[J]. Southern Fisheries Science, 2018, 14(2): 41-50. [王亮根, 李亚芳, 杜飞雁, 等. 大亚湾人工鱼礁区和岛礁区浮游动物群落特征及对仔稚鱼的影响[J]. 南方水产科学, 2018, 14(2): 41-50.]
- [18] Lin Z J, Zhan H G. Effects of thermal effluent on fish eggs and larvae in waters near Daya Bay nuclear plant[J]. Tropic Oceanology, 2000, 19(1): 44-51. [林昭进, 詹海刚. 大亚湾核电站温排水对邻近水域鱼卵、仔鱼的影响[J]. 热带海洋, 2000, 19(1): 44-51.]
- [19] Special Office 908 of the State Oceanic Administration. Technical Regulations for Marine Bio-ecological Survey[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006. [国家海洋局 908 专项办公室. 海洋生物生态调查技术规程[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.]
- [20] Wan R J, Jiang Y W. The species and biological characteristics of the eggs and larvae of osteichthyes in the Bohai Sea and Yellow Sea[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2000, 9(4): 290-297. [万瑞景, 姜言伟. 渤、黄海硬骨鱼类鱼卵与仔稚鱼种类组成及其生物学特征[J]. 上海水产大学学报, 2000, 9(4): 290-297.]
- [21] Zhang R Z. China's Offshore Fish Eggs and Larvae[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1985. [张仁斋. 中国近海鱼卵与仔鱼[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.]
- [22] State Oceanic Administration. Marine Survey Code[M]. Beijing: Standards Press of China, 1977. [国家海洋局. 海洋调查规范[M]. 北京: 中国标准出版社, 1977.]
- [23] Shannon C, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana-Champaign: University of Illinois Press, 1998.
- [24] Pielou E C. An introduction to mathematical ecology[J]. Bioscience, 2011, 24(2): 7-12.
- [25] Sherman K, Lasker R, Richards W, et al. Ichthyoplankton and fish recruitment studies in large marine ecosystems [Includes pollution stress, spawning estimates, Fishery Management Zone, USA][J]. Marine Fisheries Review, 1983, 45(10): 1-25.
- [26] Luo H X, Chen P M, Yuan H R, et al. Growth of juvenile *Anthocidaris crassispina* released and enhanced in Dayawan Bay[J]. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(3): 14-21. [罗虹霞, 陈丕茂, 袁华荣, 等. 大亚湾紫海胆(*Anthocidaris crassispina*)增殖放流苗种生长情况[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(3): 14-21.]
- [27] Chen T, Lin J B, Guo J F, et al. A study on status of red sea bream *Pagrosomus major* stock in Daya Bay[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2003, 22(3): 30-35. [陈涛, 林金铨, 郭金富, 等. 大亚湾真鲷资源状况研究[J]. 热带海洋学报, 2003, 22(3): 30-35.]
- [28] Shi Z H, Xie M M, Peng S M, et al. Effects of temperature stress on activities of digestive enzymes and serum biochemical indices of *Pampus argenteus* juveniles[J]. Progress

- in Fishery Sciences, 2016, 37(5): 30-36. [施兆鸿, 谢明媚, 彭士明, 等. 温度胁迫对银鲳(*Pampus argenteus*)幼鱼消化酶活性及血清生化指标的影响[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(5): 30-36.]
- [29] Fu C, Cao Z D, Fu S J. The influence of temperature and starvation on resting metabolic rate and spontaneous movement of juvenile *Cyprinus carpio*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2012, 47(2): 85-90. [付成, 曹振东, 付世建. 温度和饥饿对鲤鱼幼鱼静止代谢率及自发运动的影响[J]. 动物学杂志, 2012, 47(2): 85-90.]
- [30] Sheng A Z, Ju H M, Li G Y, et al. Expression patterns of Hsp90 of *Paralichthys olivaceus* in response to temperature treatment and *Vibrio anguillarum* infection[J]. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(5): 1-8. [生安志, 鞠辉明, 李贵阳, 等. 牙鲆(*Paralichthys olivaceus*) Hsp90 mRNA 在温度刺激和鳃弧菌感染下的表达特征[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(5): 1-8.]
- [31] Li H, Yang R B. Preliminary observation on the effect of temperature on the hatching of eggs of *Eucalyptus longicornis*[J]. Chinese Journal of Zoology, 1989, 24(4): 2-6. [李禾, 杨若宾, 彭绍君. 温度对长吻鲢鱼卵孵化影响的初步观察[J]. 动物学杂志, 1989, 24(4): 2-6.]
- [32] Xu L W, Liu G F, Wang R X, et al. Effects of abrupt salinity stress on osmoregulation of juvenile[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(7): 1596-1600. [徐力文, 刘广锋, 王瑞旋, 等. 急性盐度胁迫对军曹鱼稚鱼渗透压调节的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(7): 1596-1600.]
- [33] Yin F, Peng S M, Sun P, et al. Effects of low salinity on digestive enzymes activity in intestinal tract of juvenile silver pomfret *Pampus argenteus*[J]. Marine Fisheries, 2010, 32(2): 160-165. [尹飞, 彭士明, 孙鹏, 等. 低盐胁迫对银鲳幼鱼肠道消化酶活性的影响[J]. 海洋渔业, 2010, 32(2): 160-165.]
- [34] Sun M L, Lü H Q, Bao N, et al. IgM, NKCC1, and Hsp70 gene expression in juvenile *Takifugu rubripes* under acute low-salinity stress[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(1): 65-72. [孙梦蕾, 吕绘倩, 暴宁, 等. 急性低盐胁迫下红鳍东方鲀幼鱼 IgM、NKCC1 和 Hsp70 基因的表
- 达[J]. 中国水产科学, 2017, 24(1): 65-72.]
- [35] Yang L, Lin T T, Liu X, et al. Effects of low salinity stress on the survival and growth of the lined seahorse, *Hippocampus erectus*[J]. Marine Fisheries, 2017, 39(6): 657-664. [杨琳, 林听听, 刘鑫, 等. 盐度变化对灰海马仔鱼存活及生长的影响[J]. 海洋渔业, 2017, 39(6): 657-664.]
- [36] Song X K, Liu A Y, Yang Y Y, et al. Distributing of ichthyoplankton and the correlation with environmental factors in Laizhou Bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2010, 41(3): 378-385. [宋秀凯, 刘爱英, 杨艳艳, 等. 莱州湾鱼卵、仔稚鱼数量分布及其与环境因子相关关系研究[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(3): 378-385.]
- [37] Qiang J, Li R W, Wang H. Effects of pH on survival activity index and growth of larvae of hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)[J]. South China Fisheries Science, 2009, 5(2): 69-73. [强俊, 李瑞伟, 王辉. pH 对奥尼罗非鱼仔鱼活力及仔、稚鱼生长的影响[J]. 南方水产科学, 2009, 5(2): 69-73.]
- [38] Xiao Y Z, Wang R, Ou Q, et al. Relationship between abundance distribution of fish eggs, larvae and juveniles and environmental factors in the Pearl River Estuary in spring[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2010, 29(4): 488-495. [肖瑜璋, 王蓉, 欧强, 等. 春季珠江口水域鱼卵和仔稚鱼的分布及其与环境因子的关系[J]. 台湾海峡, 2010, 29(4): 488-495.]
- [39] Wang Y L, Cheng Y X, Xu Z L, et al. Effects of suspended dredging sediment on the larval development and molt of Chinese crab *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1999, 6(5): 20-23. [王云龙, 成永旭, 徐兆礼, 等. 长江口疏浚土悬沙对中华绒螯蟹幼体发育和变态的影响[J]. 中国水产科学, 1999, 6(5): 20-23.]
- [40] Zhou Y, Ma S S, Qu K M, et al. Toxic effects of suspended substances (SS) on embryos and newly-hatched larvae of *Cynoglossus semilaevis* Günther[J]. Progress in Fishery Sciences, 2009, 30(3): 32-37. [周勇, 马绍赛, 曲克明, 等. 悬浮物对半滑舌鳎胚胎和初孵仔鱼的毒性效应[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(3): 32-37.]

Population characteristics of fish eggs and larvae and their relationship with environmental factors in Daya Bay

WANG Jiujiang^{1,2}, LIU Yong², XIAO Yayuan², WANG Teng², LI Chunhou²

1. Fisheries College, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;

2. Key Laboratory of Exploitation and Utilization of Fishery Resources of South China Sea, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Key Laboratory of Fishery Ecological Environment of Guangdong Province, South China Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Guangzhou 510300 China

Abstract: This study aimed to evaluate the relationship between the dynamic changes in the abundance of fish eggs and larvae with respect to the environmental factors in Daya Bay. In the fourth quarter of 2015, 31361 eggs and 244 larvae were collected, including eggs from 19 species, belonging to 6 orders, 16 families, and 18 genera. There were fish larvae from 18 species, belonging to 5 orders, 15 families and 16 genera; 11 fish species were common between the eggs and larvae collected. The eggs and larvae of Perciformes accounted for 57.9% and 73.6% of the total collection, respectively. Fish eggs belonged to 3 dominant species: *Sillago* sp., and *Callionymus* sp, and species of the family Sparidae. The average abundance of fish eggs and larvae were 614.55 individuals/1000 m³ and 3.69 individuals/1000 m³, respectively. Horizontal distribution of abundances revealed that in general, the abundance in the central islands of Daya Bay was the highest, followed by that in the artificial reefs of Daya Bay. The value of Shannon-Wiener index (H') for fish eggs in the investigated area ranged from 0.05–2.26, with an average value of 0.86, while that for larvae ranged from 0–2.53, with an average value of 0.86. The value of Pielou's evenness index (J) for fish eggs ranged from 0.02–0.99, with an average value of 0.5, while that for larvae ranged from 0–1.00, with an average value of 0.52. The results of Pearson correlation analysis showed the environmental factors that were most correlated with the population were temperature and dissolved oxygen ($P < 0.01$). Low temperature and low dissolved oxygen, within their respective suitable ranges, were more beneficial to the growth and development of juvenile fish. The spring and summer were important periods for fishes to spawn, and the central islands were the key areas for the reproduction of fish in Daya Bay.

Key words: fishery resources; Daya Bay; fish eggs; fish larvae; environmental parameters

Corresponding author: LI Chunhou. E-mail: chunhou@scsfri.ac.cn