

# 河口鱼类浮游生物生态学研究进展\*

线薇薇<sup>1, 2①</sup> 张 辉<sup>1</sup> 刘淑德<sup>1</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所 海洋生态与环境科学重点实验室, 青岛 266071;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋生态与环境科学功能实验室, 青岛 266071)

**摘要** 河口是咸淡水交汇的水域, 有大量的营养物质, 是初级生产力和浮游生物最丰富的水域, 为鱼类及其幼鱼的生长提供了丰富的饵料基础。本文综述了国内外有关河口鱼类早期资源(鱼类浮游生物)生态学研究的若干最新研究进展, 内容包括河口鱼类浮游生物的生态类型、种类组成和时空分布, 温度、盐度、混浊度、食物、其他捕食者等环境要素, 厄尔尼诺和拉妮娜等气候现象, 以及大型工程建设、过度捕捞和污染等人为因素对河口鱼类浮游生物群落结构影响的研究。

**关键词** 河口; 鱼类早期资源; 鱼类浮游生物; 影响因素

**中图分类号** Q147 **doi:** 10.12036/hyxxjk20160718001

河口是一个半封闭的海岸水体, 与海洋自由沟通, 海水在其中被陆域来水所冲淡(Day 1980, 1981)。在河口水域, 径流、潮流、风浪共存, 水流、泥沙运动具有很强的非恒定性, 物理、化学、生物和地质过程耦合多变, 演变机制复杂, 生态环境敏感脆弱, 形成了有别于淡水和海水的独特河口环境(罗秉征等, 1994)。河口是地球上生产力最高的生态系统, 是海洋生物营养物质的重要来源地, 也是最敏感和最重要的生物栖息地之一, 许多生物种类都在这里完成部分或全部生活史, 尤其是作为许多鱼类重要的觅食、繁衍和栖息场所(线薇薇和罗秉征, 2015)。所以, 鱼类浮游生物(ichthyoplankton, 包括鱼卵和仔稚鱼)是河口

生态系统中很重要的一类生物群落, 是主要的被捕食者, 又是次级生产力的重要消费者; 既是生物能量的消费者又是生物能量的转换, 是海洋食物链中的重要环节之一。鱼类浮游生物的存活和数量能够反映未来鱼类种群的生物量和年际动态变化(Butler et al., 2003), 是鱼类资源补充和渔业资源持续利用的基础(万瑞景和孙珊, 2006)。因此, 针对河口鱼类浮游生物的生物学和生态学研究具有十分重要的理论和实践意义。

从 19 世纪 80 年代以来, 由于渔业生产的迅速发展, 促使国内外学者在河口鱼类浮游生物生态学领域开展了许多卓有成效的工作, 包括群落的种类组成、丰度、时空分布及其影

\* 资助项目: 国家自然科学基金面上项目(41176138, 31272663, 41406136); 国家基金委-山东省联合基金项目(U1406403); 国务院三峡工程建设委员会项目(JJ 2015-011)。

① 通讯作者: 线薇薇, 女, 研究员, 从事海洋生态学研究, E-mail: wwwxian@qdio.ac.cn

收稿日期: 2016-07-18, 收修改稿日期: 2016-08-07

响因子等,还涉及鱼类的胚胎发育和仔鱼的形态、分类及其生长和死亡生理、生态习性等,从而为河口生态系统研究奠定了基础,也极大地促进了鱼类浮游生物生态学的发展。但到目前为止,还未对河口鱼类浮游生物生态学进行系统报道。本文综述了近年来国内外河口鱼类浮游生物生态学的最新研究进展和成果,以期为我国河口生态学的研究提供参考,为河口资源的评估和持续利用提供科学依据。

## 1 河口鱼类浮游生物群落结构研究

### 1.1 河口鱼类浮游生物生态类型

河口是江海相互作用的过渡地带,海水被来自内陆河流的淡水所稀释,因而河口的环境具有海洋和淡水两种特性,也具有丰富的生物多样性。就像河口学上对河口的分类一样,生物学上对河口鱼类浮游生物群落的分类也非常多。一般可以根据产卵习性、盐度承受力、洄游习性和空间分布等特性而分为不同的生态组或功能群。例如,Whitfield(1998)根据河口鱼类的产卵区域与河口的关系,将河口鱼类分为①海洋产卵群落:河口的主要控制群落,主要为在海洋环境产卵的广盐性种类。它可以分为海洋迁移群落,在幼鱼和成鱼阶段都充分地栖息和利用河口环境;海洋漫游群落,主要生活史在海域完成,但在成鱼阶段可漫游到河口区域。②河口产卵群落:在河口环境内产卵,主要栖息地在河口。它可以分为河口常驻鱼类,全部生活史都在河口完成;河口迁移群落,生活史过程中仔鱼阶段可在海域中栖息,也可在河口和海洋相连地带规则地移动。③淡水产卵群落:在淡水河流中产卵。它可以分为淡水迁移群落,栖息环境全年都在广阔的河口范围内包括一部分相邻的河流区域,它们既在河流中又在河口环境内产卵;淡水漫游群落,在河流中产卵,仅在环境条件合适的较短时间出现在河口的某些区域。④降河产卵群落:在海洋产卵,但是其稚鱼、

幼鱼阶段栖息在淡水环境中,它们利用河口作为连接淡水和海洋环境之间的通道。⑤溯河产卵群落:在淡水环境内产卵,但是它们利用河口和海洋作为其仔稚幼鱼或成鱼阶段的栖息地。杨东莱等(1990)和罗秉征等(1994)根据长江口仔稚幼鱼对温度、盐度的适应性及分布特性的不同,将长江口的鱼类浮游生物分为4种生态类型:①淡水型鱼类,全部生活史在淡水中度过;②半咸水型鱼类,包括了溯河洄游和降海洄游的种类,多为河口性鱼类;③沿岸型鱼类,多为春夏季洄游至沿岸浅水进行产卵繁殖、索饵、生长发育,秋冬季则向外海洄游越冬,具有明显的季节洄游特征;④近海型鱼类:多为大洋性和深海性鱼种,多栖息于30m深的海域中(盐度相对较高),适温和适盐性较广。Islam和Tanaka(2006)根据不同种类的盐度适应型,将日本Chikugo河口的鱼类浮游生物分为以下几种:①狭盐性;②中盐性;③广盐性;④多盐性。Potter等(1990)则根据鱼类浮游生物生活习性的不同将它们分成以下几种:①机会主义型(opportunists);②流浪型(stragglers);③河口型(estuarine);④洄游型(diadromous);⑤淡水型(freshwater)。

### 1.2 河口鱼类浮游生物种类组成

河口是流域物质入海的必经之路,也是陆海相互作用的通道(王凡等,2004)。河口地区营养物质丰富,饵料生物繁盛,成为孕育生物资源的物质基础。人们把河口比喻为营养物的“收集器”,以说明该水域的肥沃和较高的生产能力(罗秉征等,1994)。河口的环境特点和物质基础决定了栖息于河口的鱼类浮游生物的种类和数目。由于径流和潮流的交汇作用,河口鱼类浮游生物形成了一个有别于其他海域的生物群落。拥有众多的稀有种和高丰度的少数种是河口鱼类浮游生物群落普遍的特征(Gaughan et al., 1990; Harrison and Whitfield, 1990; Drake and Arias, 1991; Harris and Cyrus, 1995; Whitfield, 1999)。许多研究表明,在温带

河口地区, 鱼类浮游生物群落一般以生活在河口地区的鰕虎鱼科和在河口地区季节性产卵的鲱科、鳀科等居多(Talbot and Able, 1984; Drake and Arias, 1991; Monteleone, 1992; Blaber, 1997; Strydom *et al.*, 2003)。

分布于不同地理区域的河口, 鱼类浮游生物群落在物种组成上会因各河口不同的气候和环境条件而异, 国内对鱼类浮游生物研究较为全面的是长江口。长江口及其邻近水域鱼类浮游生物种类组成记录最多的是杨东莱等(1990)1985~1986 年调查的记录, 共捕获鱼卵约 90 万种, 均属于浮性卵, 仔稚鱼近 7 万尾, 隶属于 53 科 82 属 94 种; 朱鑫华等(2002)记录长江口春季仔稚鱼 9 目 15 科 19 属 20 种, 以沿岸、半咸水和近海种类为主; 蒋玫等(2006)2000~2003 年的调查记录了 10 目 30 科 4 属 45 种, 主要以鳀科、狗母鱼科和石首鱼科所占比例最高。江素菲和陈枫(1993)早在 1987 年就对九龙江口的鱼类浮游生物群落进行了研究, 共鉴定鱼卵 14 种, 隶属于 4 目 7 科 11 属; 仔稚鱼 49 种, 隶属于 9 目 29 科 47 属, 以半咸水和沿岸型的种类较多。在台湾地区, Tzeng 和 Wang(1993)对潭水河口的调查结果显示, 在 43 科 93 种鱼类浮游生物中, 羊鱼科和鰕虎鱼科是主要的优势种。关于国内其他河口鱼类浮游生物的研究进展尚未见报道。

国外学者对不同类型河口的鱼类浮游生物群落进行了广泛的调查研究, 取得了丰硕的成果。例如, 南美洲的拉普拉塔河口(阿根廷-乌拉圭), 石首鱼科、鲱科、鳀科、舌鳎科和鲹科是鱼类浮游生物群落主要的优势鱼科(Berasategui *et al.*, 2004)。Barletta-Bergan 等(2002)在巴西北部 Caete 河口共捕获 35 555 尾仔稚鱼, 隶属于 28 科 63 属, 石首鱼科和鳀科出现的比例最高, 鳀科的 *Anchovia clupeioides* 和石首鱼科的 *Stellifer microps* 共占总捕获量的 70.4%。在欧洲的利马河口(葡萄牙), Ramos 等(2006b)发现有 20 科 50 属的仔稚鱼, 鰕虎鱼

科和鲱科是主要的优势物种。

环境条件相似和地理位置相近的两个区域在物种组成和数量上也是相似的(De Morais AT and De Morais LT, 1994)。Potter 等(1990)比较了位于相似纬度位置的澳大利亚西南部和非洲东南部(低于南纬 30°)且都流向印度洋的多个河口地区, 发现鲱科、鳀科、银汉鱼科和鰕虎鱼科是这两个地区的物种, 而鲷科、四齿鲃科和热带种的天竺鲷科、银鲈科仅仅出现在澳大利亚西南部的河口区域。Blaber(1997)对亚洲 Sarawak 和 Sabah 地区的 23 个河口鱼类浮游生物群落调查发现 26 科 56 属, 鰕虎鱼科是唯一普遍存在的鱼, 该区域比西印度太平洋地区的其他热带河口的多样性要低。Strydom 等(2003)研究了南非东开普海岸的 7 个永久开放性河口和 5 个暂时开放性河口发现, 两种类型的河口出现较多的鱼类浮游生物是鲱科和鰕虎鱼科。然而, 也有些学者存在不同的观点。Robertson 和 Alongi(1992)研究得出, 西印度太平洋红树林河口的物种丰富度比热带大西洋红树林河口的高。

### 1.3 河口鱼类浮游生物时空分布

河口地区具有复杂多变的物理、化学和水文条件, 环境因子时空变化剧烈, 加之气候的变化, 使河口的环境异质性更加明显。河口鱼类浮游生物群落会随着鱼类的生殖季节和环境因子的变化在时间和空间尺度上发生相应的改变(Whitfield, 1994; Harris and Cyrus, 1995; Hettler and Hare, 1998; Harris *et al.*, 2001; Garcia *et al.*, 2003)。

#### 1.3.1 季节变化

河口鱼类浮游生物群落在组成、丰度和空间分布等方面有显著的季节变化。通常情况下, 河口鱼类浮游生物的丰度会在春季或夏季达到峰值(Whitfield, 1989; Young and Potter, 2003), 因为大多数鱼类的生殖期在春季和夏季(Sabatés *et al.*, 2007)。长江口的研究表明(线微微和罗秉征, 2015), 全年均有鱼卵和仔稚

鱼出现, 鱼卵仔鱼主要出现在春夏季, 春季出现鱼卵最多, 仔稚鱼数量相对较少, 夏季鱼卵相对减少, 仔鱼数量增多, 秋冬季鱼卵仔稚鱼相对较少, 种类组成上也有明显的不同。杨东莱等(1990)认为, 长江口鱼类浮游生物种类组成的季节变化和数量分布均受到以长江为主与黄海冷水团及台湾暖流等水系消长及相互作用下的水文因子变化的制约, 其中长江径流量变化的影响尤为明显。单秀娟等(2004)则认为, 长江口鱼类浮游生物的季节变化节律是优势种为避免激烈竞争、充分利用水域饵料资源、在时间分布上的一种适应。对九龙江口的研究也有相似的结果(江素菲和陈枫, 1993), 该水域的鱼卵与仔稚鱼种类和数量以春夏季较多, 秋冬季较少, 温度对其季节分布影响很大, 另外, 潮流、径流量、盐度和食物等因素也会对其产生较大影响。

国外学者对河口鱼类浮游生物季节变化的研究也得出了相似的结果。例如, Reyier 和 Shenker(2007)在对佛罗里达大西洋海岸一条亚热带河口的调查研究中发现, 鱼类浮游生物的捕获物中, 85%的鱼卵和 95%的仔稚鱼都是 5~10 月雨季的拖网所得。Roper(1986)对新西兰北部 Whangateau 海港中的一条小河口的研究表明, 仔稚鱼的峰值期出现在早夏。Strydom(2003)研究了南非的两条温带暂时开放性河口, 发现夏季和秋季是仔稚鱼的高峰期, 在河口自然性开放后仔稚鱼密度会增加好几倍。河口地区鱼类浮游生物群落的变化源于其优势种的变化。在葡萄牙东南部的 Guadiana 河口(Faria et al., 2006), *Pomatoschistus* spp. 和 *E. encrasicolus* 是春夏季主要的两个物种, 而到了秋冬季则成了 *Sardina pilchardus* 的“天下”, 这主要是由鱼类生殖季节的不同所致。

### 1.3.2 空间分布

鱼类浮游生物的空间分布常表现为水平分布和垂直分层的均匀性, 其分布规律不仅

与仔稚鱼的生态习性和生理变化(如种类、发育期)有关, 而且还受外界环境变化(如饵料、光照、径流和潮汐)的影响(杨宇峰等, 2006)。

水平分布的不同不仅仅表现为不同区域上种类和数量的差别, 而且表现为不同区域物种生态类型也不尽相同。据杨东莱等(1990)发现, 长江口的鱼类浮游生物中, 半咸水型的多数种主要于春季水温为 12.0~22.0℃、盐度为 0.1~12.0 的长江下游水道及其入海口附近海区进行繁殖, 沿岸型多分布在盐度为 5.0~26.0 的混浊水域, 即 122°30'E 以西、25m 等深线以内的浅水区, 近海型主要在盐度 24.0~33.0、水质澄清的海区, 即 122°30'E 以东、30m 等深线以外的海区。另外, 有些学者提出, 在河口地区鱼类浮游生物的物种数沿下游到上游的方向明显减少。例如, Neira 等(1992)对澳大利亚西南部大 Swan 河口的研究表明, 河口下游的月平均物种数远远多于河口上游, 河口下游的鱼类浮游生物多属于海洋产卵型鱼类, 而河口上游的则属于河口产卵型鱼类。Ramos 等(2006b)指出, Lima 河口的上游鱼类浮游生物丰度最大。而不少学者也得出了不同的结论, 如江素菲和陈枫(1993)对九龙江口的研究结果显示, 鱼卵数量以河口上游最多, 种数则以河口下游较多, 仔稚鱼相对集中于河口中游, 其数量和种数均为最多。Barletta-Bergan 等(2002)的调查也显示, 在巴西北部 Caete 河口仔稚鱼密度的峰值出现在干季的河口上游, 物种数的峰值出现在干湿季之间的河口上游。

垂直分布的差异不仅源于不同种类生态习性的差异(不同的种类有不同的深度趋向(Muhling et al., 2007)), 如鲱科一般生活在中上层; 鰕虎鱼科则栖于河口及近岸水域的底层, 而且与水体结构和波动有关。刘淑德和线薇薇(2010)指出, 水深可以作为群落变化的主要指标, 并且群落具有沿水深而成带状分布的趋势, 这一水深分布成带状格局是群落对各环境因子的综合效应; Sánchez-Velasco 等(2007)

指出, 在加利福尼亚州西南海湾, 仔稚鱼的垂直分层主要源于水体结构的季节变动, 大部分仔稚鱼集中在海洋密度跃层, 这里是水体最稳定的层; Jager(1999)对威登海 Ems 河口的比目鱼(*Platichthys flesus* L.)仔鱼的研究表明, 其垂直分布随潮汐的变化而变化, 涨潮时密度的最高值出现在表层, 落潮时最低密度出现在中层。另外, 鱼类浮游生物的垂直分布还受温度分层的影响(Gray and Miskiewicz, 2000)。目前, 除了关于河口鱼类浮游生物群落垂直分布的报道外, 更多的研究则集中在一些种类的深度趋向和昼夜周期性垂直移动等个体活动。Schultz 等(2003)对 Hudson 河口的 *Anchoa mitchilli* 和 *Gobiosoma bosc* 仔鱼的调查发现, 在调查的深度上晚上比白天捕获的物种要多, 这两种仔鱼都有昼夜周期性垂直移动的行为。Ramos 等(2006a)则认为, 仔稚鱼的垂直迁徙是为了逃避寒冷低盐的表面水。Weinstein 等(1980)对南非一些河口的石首鱼科的研究发现, 像垂直迁徙这样简单的行为特征能使仔稚鱼利用两层的环流, 从而达到保持力的动态平衡, 避免被冲出河口区。

## 2 河口鱼类浮游生物影响因素研究

关于鱼类浮游生物群落结构变化的原因, 众多学者也是观点各异。例如, 刘淑德等(2008)指出, 鱼类群落的区域性变化主要是由温度、盐度和深度的梯度及底质类型的差异所引起的; Tzeng 和 Wang(1993)提出, 物理化学条件和个体行为对鱼类浮游生物分布起重要作用; Hernández-Miranda 等(2003)认为, 鱼类浮游生物群落的时空变化主要与气象和海洋的季节特征有关, 特别是在中纬度地区; Azeiteiro 等(2006)认为, 在温带近海岸水域, 仔稚鱼的水平分布与成鱼的分布、产卵的位置及产卵的类型(浮性或者沉性)有关; Faria 等(2006)认为, 除了温度和盐度以外, 悬浮物、悬浮有机质、叶绿素 a 和径流等因素都影响河口鱼类浮游

生物的空间结构; Ramos 等(2006a)认为, 气候和水动力的年周期性变化对于河口鱼类浮游生物群落有很强的影响。

鱼类资源的动态变化取决于其世代的强弱, 而世代的强弱很大程度上取决于它们早期生活史阶段的补充状态(Hjort, 1914), 因此河口鱼类浮游生物的结构组成和变化直接影响到河口地区及其周边地区渔业资源的可持续利用。所以, 研究影响河口鱼类浮游生物结构变化的因素具有十分重要的社会和经济意义。

### 2.1 环境因素

#### 2.1.1 温度和盐度

水温和盐度是影响鱼类新陈代谢的主要因素之一, 其变动也将对鱼类仔、稚鱼的形态发育和生长产生直接影响。鱼类受精卵孵化的一系列反应过程通常需要适宜的温度和盐度条件。杨宇峰等(2006)指出, 温度是诱发浮游动物休眠卵萌发的重要环境因子。王宏田和张培军(1998)指出, 盐度会对鱼的孵化期产生影响, 有些鱼的孵化期随着盐度的升高而缩短; 有些鱼的孵化期随着盐度的升高而延长, 有的则不受盐度影响。Ramos 等(2006a)提出, 温度和盐度在鱼类生长发育的仔稚鱼阶段对其生长、密度和繁殖有重要影响。

温度除了对鱼类的繁殖、补充、生理、生长和行为有主要且直接的影响外(Sabatés et al., 2006), 也是影响鱼类浮游生物数量变化和空间分布的重要因素。河口一般较浅, 其温度变化大, 既有昼夜变化, 又有季节变化, 所以河口广温性种类占优势(杨宇峰等, 2006)。在温带和亚热带河口地区, 物种数的峰值一般出现在春季和夏季, 就是因为温度的年周期性变化规律(Neira et al., 1992)。这与 Holmes 和 Henderson(1990)及 Palomera(1992)关于“温度影响成鱼的繁殖周期和生殖时间”的观点在本质上是一致的。据江素菲和陈枫(1993)对九龙江口的研究发现, 从春季(平均水温为 19.9℃)

到夏季(平均水温为 29.9℃)水温上升, 饵料生物丰富, 不少鱼类在河口产卵, 河口内鱼卵、仔稚鱼的种类和数量大大增加。到冬季, 水温下降(平均水温为 16.6℃), 饵料生物稀少, 产卵鱼类减少, 鱼卵、仔稚鱼的种类和数量大为减少。水温对长江口仔鱼产生的效应更为明显, 对鱼卵产生的效应则不够明显(蒋玫等, 2006)。Ramos 等(2006b)对 Lima 河口鱼类浮游生物的典型相关分析表明, 温度的季节变动在仔稚鱼的群落时间变化上起主要作用。在 Hopkins 河口, 仔稚鱼丰度的峰值一般在河口水温达到最大值之前或之后出现(Newton, 1996)。

盐度也是影响河口生物的重要环境因素, 不仅影响鱼类浮游生物的生长、发育和繁殖, 而且影响种类和数量的时空分布。盐度是决定河口浮游生物群落结构变化的关键性非生物因子(Wooldridge, 1999)。在河口区, 盐度受到径流、风浪和潮流等因素的综合作用, 存在着复杂的时空变化。河口特殊的地理条件和大量淡水的注入决定了其盐度顺江河方向逐渐增高, 河口生物也依盐度梯度的变化在不同的分布区域出现不同的生态类型, 这一点已经被许多学者所证实(杨东莱等, 1990; Mouny and Dauvin, 2002; Neira et al., 1992)。一般来说, 枯季河口盐度高, 洪季盐度低, 在巴西的 Caeté 河口, 盐度的季节性波动也能引起鱼类浮游生物物种数和群落结果的变化(Barletta-Bergan et al., 2002)。据蒋玫等(2006)对长江口的研究表明, 降盐结果使得鱼卵、仔鱼的数量出现一个明显的高峰值, 近海低盐水系对调查水域鱼卵、仔鱼的孵化与发育有显著影响。

### 2.1.2 混浊度

河口水中有大量的悬浮颗粒, 其混浊度较高, 特别是在有大量河水注入的时期。混浊度作为重要的环境因子, 对河口生物时空分布等方面有着重要影响。Neira 等(1992)指出, Caete 河口丰度最大的种类是河口定居性仔稚鱼, 其存在与河口上游的浊度条件有关。

Harris 和 Cyrus(1995)在研究 St Lucia 河口时也指出, 混浊度是影响河口依赖型种类密度最重要的因素之一。目前, 河口的最大浊度带作为河口动态生态系统普遍存在的特征已被广泛研究(Schubel, 1968; Jager, 1998; Islam et al., 2006)。河口最大浊度带有高比例的饵料生物, 因而更有利于鱼类浮游生物的摄食(Islam et al., 2006); 在这种高浊度的地区, 也降低了鱼类浮游生物遭遇捕食者的概率, 从而提高了其存活率(Parrish, 1989); 基于以上两点, 河口最大浊度带成为仔稚鱼高丰度的地区(North and Houde, 2003)。然而, Faria 等(2006)在 Guadiana 河口的最大浊度发现, 鱼类浮游生物的低密度和低丰度, 可能由以下原因造成了这种状况: ①过高的浊度成为一些物种摄食的一种障碍; ②网目过大使许多小的个体逃脱; ③在拖网进行的白天, 最大浊度带的仔稚鱼选择了在水体的深处活动。另外, 河口最大浊度带会因淡水的注入和风力的驱动随季节变化在短时间尺度上变动(North and Houde, 2003), 从而使与之相关的鱼类浮游生物群落也发生相应的变化。

### 2.1.3 水动力条件

对于许多海水鱼类来说, 成鱼群落的补充需要在早期生活史阶段从开阔海域的产卵场迁徙到河口育幼场(Churchill et al., 1999; Islam et al., 2007)。作为河流和海洋的交汇地带, 河口因其特殊的地理位置而使鱼类浮游生物的迁徙受到江河径流、潮汐、水团和海流等多种水动力条件的影响。Forward 和 Tankersley (2001)与 Schultz 等(2003)认为, 河口对鱼类浮游生物的迁徙设置了特殊的挑战, 因为径流是流向海洋而且速度通常大于仔稚鱼游泳的速度。河口水动力条件的变动不仅影响到鱼类浮游生物的迁徙, 而且对其结构和分布产生影响。杨宇峰等(2006)认为, 淡水的注入和海水的潮汐作用是决定河口生态系统理化性质的两个主要因素。

江河径流是调整河口系统结构和功能的关键因子(Taylor, 1982)。河口径流的变动能够引起许多效应: 漫滩的发生、有机物输送加快、污染物的冲淡和流动、河口盐锋的推移及密度梯度的形成、一些粒子和生物群在河口驻留时间的改变(Kimmerer, 2002)、地形的改变、浊度和溶解氧的变化, 这些效应最终都影响到河口生物的丰度和分布类型(Drinkwater and Frank, 1994; Grange and Allanson, 1995)。长江口产卵中心位置的变化均随长江入海量多少和盐度、透明度的变化而趋近岸或离岸移动(杨东莱等, 1990)。据 Faria 等(2006)在 Guadiana 河口地区的研究表明, Alqueva 大坝没有修建以前径流是影响鱼类浮游生物丰度和分布的主要因子。De Morais AT 和 De Morais LT(1994)在 Cayenne 河口的研究指出, 尽管一年又一年的淡水注入基本稳定, 但它还是能够影响一些种类仔鱼的补充和改变鱼类浮游生物群落的组成。物种丰度与江河径流的关系也不尽相同, 因为不同的物种对于径流的流量和时间的适应是不同的(Costa et al., 2007)。Kimmerer (2002)指出, 几种河口依赖型种的丰度和成活率随着淡水的注入而变大, 而 Whitfield(2005)对 Thukela 河口的研究发现, 随着径流量的增加, 鱼类浮游生物的丰度逐渐减少, 当径流以大于  $100\text{m}^3/\text{s}$  的流量流经河口时, 许多物种将从该河口地区流失。Shoji 等(2006)则认为, Chikugo 河的径流可能通过两种方式增加或减少 *Lateolabrax japonicus* 的补充: ①通过温度的提高和仔稚鱼生长的加快来增加补充的可能; ②高通量的径流通过把仔稚鱼向海域冲散来减少其向河口迁徙的可能, 通过降低浊度来加强其他生物捕食仔稚鱼的活动, 通过降低被捕食浮游动物的丰度来使其达到饥饿的状态。

河口水位和水流受外海潮波影响发生周期性的升降和波动而形成河口潮汐, 它通常比开阔海洋的潮汐大, 变化也更复杂。在潮汐

作用下, 河口(特别是河口的中下段)盐度升高, 水体相对分层并具有高丰度的浅海生物种类; 如果冲淡水作用强烈, 河口盐度下降, 水体混合程度增高, 生物群落的优势种类主要是典型的河口种类, 甚至是淡水种类(杨宇峰等, 2006)。Islam 等(2007)在研究 Chikugo 河口时也得出了相似的结论, 根据潮汐和物种丰度的关系将鱼类分为两个种: ①在低潮时, 主要是淡水种; ②在高潮和涨潮阶段主要是海水种。通常情况下, 高潮时河口下游会出现更多的物种, 因为有许多海洋物种随潮流进入河口, 增加了该区域的物种多样性(Faria et al., 2006)。潮汐除了对鱼类浮游生物群落的分布和结构产生影响外, 也会对仔稚鱼的迁徙、捕食、躲避敌害和生殖等活动产生明显影响(Gibson, 2003)。季节性的物种能够被潮流从海洋带到河口, 但高通量的径流能使这种向河口的迁移变弱, 特别是表层水域, 这样的效应常出现在南美的亚热带河口(Barletta-Bergan et al., 2002; Garcia et al., 2003)。Chen 等(1997)指出, 潮流和幼体行为(垂直迁移)的相互作用在浮游生物的溯流移动或原生境的保留等方面起了重要作用。Islam 等(2007)指出, 仔稚鱼在涨潮时出现在水体上层, 退潮时则出现在水体下层, 这是仔稚鱼利用潮汐的一种保留机制。

除了径流和潮汐, 其他水动力条件也在影响着河口的鱼类浮游生物。例如, 吴光宗(1989)指出, 鳃鱼的生殖受到长江口海区特定的地理位置及长江径流、黑潮暖流和黄海冷水等多种水系水势强弱变化的制约。Ramos 等(2006a)提出, 上升流能够使近岸海水流向海洋, 从而使海水向河口的补充延缓, 同时也降低了河口下游物种的多样性。

#### 2.1.4 食物

鱼类在生命周期的早期阶段有一个极短的时间依靠卵黄维持生命, 在度过短暂的混合营养期以后, 就完全改食外界饵料。不同鱼

种对饵料生物的选择性不同,如海洋鱼类仔鱼主要以桡足类为食,淡水鱼类则以轮虫为主要食物。即使是同一种鱼类,在不同的生长发育阶段,对饵料生物的选择性也不同(王新安等, 2006)。例如,凤鲚(*Coilia mystus*)在仔稚幼鱼阶段,以枝角类、桡足类和端足类等浮游动物为食,当体长达60mm左右时,其食物成分逐渐改变,以小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、矛尾鰕虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)、龙头鱼(*Harpadon nehereus*)等幼鱼和鱼卵、虾类、桡足类、端足类为食,也吃一些其他小型动物,如枪乌贼和虾蛄等。从空间分布上看,仔稚鱼更愿意在一个具有稳定且可靠的浮游生物食物供应的海域生活(Whitfield, 1999)。饵料生物的种类和数量变化对鱼类浮游生物群落结果的变化有重要影响。在 Mira 和 Guadiana 河口,仔稚鱼的空间和昼夜分布与饵料生物的垂直和水平迁移有关(Esteves et al., 2000)。仔稚鱼总是聚集在食物浓度高的深度区域(Fortier and Leggett, 1984)。据 Drake 等(2007)对 *Engraulis encrasicolus* L. 的时空分布进行逐步多元回归分析显示,其主要的饵料生物 *Mesopodopsis slabberi* 能够解释其 45% 的密度变动。Newton(1996)在调查 Hopkins 河口时发现,春季和夏季仔稚鱼峰值的出现与洪季之后浮游动物大量繁殖有关,大量的浮游动物为幼小的仔稚鱼提供了很好的饵料。

### 2.1.5 其他动物摄食

在河口和海洋生态系统中,成鱼、无脊椎动物、哺乳类和某些浮游动物等对鱼类浮游生物有较强的摄食作用,它们之间复杂的食物关系对鱼类浮游生物的群落结果产生重要影响,特别是丰度。在长江口,浮游桡足类与鱼卵仔鱼的摄食关系决定了其丰度变化,从而影响着鱼卵仔鱼的数量变动(蒋玫等, 2006)。据 Esteves 等(2000)报道,在 Mira 和 Guadiana 河口仔稚鱼的丰度分布与几种捕食鱼卵和仔鱼的无脊椎动物的丰度有显著相关关系。

Faria 等(2006)在研究 Guadiana 河口时也指出,水母是仔稚鱼重要的捕食者,同时也是几个生态系统中浮游动物群落结构的重要调节者,2002 年鱼类浮游生物群落丰度的逐月降低与水母丰度的增加有密切关系。Sanvicente-Añorve 等(2006)系统地分析了鱼类浮游生物和浮游动物的关系类型后得出正相关、负相关和随机 3 种不同的类型,其中正相关是作为鱼类浮游生物捕食者的浮游动物的低丰度或缺失引起的,负相关则与浮游动物捕食鱼类浮游生物引起其丰度下降有关,随机则介于正负相关之间。

### 2.1.6 厄尔尼诺和拉妮娜现象

厄尔尼诺和拉妮娜现象是一种不规则的波动,其影响能够波及整个热带太平洋和全球气候。它是海洋-大气相互作用的一种表现,使风、降水、温跃层深度和环流产生波动,最终影响生物的生产力,改变鱼类、鸟类和哺乳动物的摄食和繁殖(Fiedler, 2002)。单秀娟等(2004)在研究长江口时指出,厄尔尼诺现象通过影响产卵场的中心位置而改变鱼类浮游生物的分布,它可以对黄海冷水团和台湾暖流产生作用,从而影响海水的温度、盐度及饵料,进而改变中心产卵场的位置,改变河口区鱼类浮游生物的时空分布格局; Sánchez-Velasco 等(2004)对加利福尼亚中心海湾的研究也得出了相似的结论。另外, Franco-Gordo 等(2004)提出厄尔尼诺现象能够影响仔稚鱼向成鱼群落补充的速率,在厄尔尼诺发生的年份,补充速率比正常水平高,但在之前和之后的年份,补充速率则要低于正常水平。

### 2.1.7 其他环境因子

除了上述一些环境因子,光、溶解氧、pH、浮游植物、风动力条件及河口的形状和地形等都对鱼类浮游生物的群落结果变动产生重要影响。例如,许多鱼类都是依靠视觉来捕食,光的水平能够影响仔稚鱼的行为和捕食(Shoji et al., 2006),如 Rakocinski 等(1996)用典型相

关分析对密西西比河鱼类浮游生物的群落结构变动进行分析发现,其除了与温度、盐度梯度有关外,溶解氧也对其变动有强烈影响;在风的推动下,大量的海水会涌入河口地区,从而改变河口生物原来的生境条件,对其群落格局造成影响,如 Tzeng 等(2002)指出,受季风驱动的海岸流能够影响台湾西海岸河口鱼类浮游生物的分布和群落结构;在一些河口生态系统中,仔稚鱼丰度峰值的出现与浮游植物生产力和生物量的峰值同步(Livingston et al., 1997; Garcia et al., 2003); Barnes(1974)指出,河口的大小和形状对生物群落的变动也有决定性影响。

## 2.2 人为因素

### 2.2.1 大型工程的修建

自 20 世纪以来,随着科技的发展和技术的进步,人类为了满足自身生存和发展的需要,在江河干流和河口附近修建了大量工程。这些工程在经济发展和进步中发挥着重要作用,同时也对河口生态环境造成较大影响。

在江河干流修建大坝几乎可以改变整条河流的流水模式,通常会改变坝下游及河口的径流和泥沙分配,引起入海径流、泥沙和营养总量的减少和改变,使得河口及其邻近海岸动力作用和泥沙沉积过程的变化,从而使河口鱼类浮游生物的空间格局发生改变。例如,长江干流的一些大型水利工程改变了长江径流原来的季节分配,流速、输沙量、盐度分布和底质条件等均会发生改变,长江口鱼类的分布与盐度的梯度变化相一致,由于海水倒灌,长江口水域的盐度增加,导致河口鱼类种类的分布区将向河口内退缩,而外海种的分布区也将向海岸与河口区扩展,由入海泥沙量减少所引起的河口水域海水透明度的增加,可能使浮游植物高生产力区向海岸扩展,许多鱼类的产卵索饵场位置均会有相应的变化(线微微和罗秉征, 1994; 线微微等, 2015);埃及尼罗河上的阿斯旺大坝建成以后,输送到河

口邻近海域的营养物质减少了 90%以上,致使沿岸海域的渔业资源严重衰竭(Nixon, 2004)。

### 2.2.2 过度捕捞

河口地区淡水和海水交汇,营养盐丰富,许多大型渔场都位于河口附近。近年来,随着海洋渔业的快速发展,捕捞渔具现代化和捕捞技术改良使捕捞强度逐年增大,捕捞强度远远超过了资源的增补能力,严重削弱了资源补充的基础,使作为渔业补充资源的鱼类浮游生物受到很大冲击,其群落结果也发生了很大改变,甚至一些经济种类在原区域内消失,渔业资源遭到严重破坏,许多传统渔场已基本难以形成渔汛。例如,长江口海域,由于对带鱼和小黄鱼等重要经济种类幼鱼的捕捞,致使鱼体小型化、早熟和低龄化现象加剧(单秀娟等, 2004)。朱鑫华等(2002)曾指出,导致群落结构“小型化”现象的直接原因,首推沿岸水域无节制地酷渔滥捕海洋生物资源。Ryder 等(1981)指出,过度捕捞和环境退化使生物群落的生态系统失去恢复力和完整性,生态系统的稳定性变差,使依赖生态系统产出的渔业产量在质和量两个方面具有不可预见的变化。

### 2.2.3 污染

河口地区是人类活动最为频繁、环境变化影响最为深远的地区。随着现代工农业的发展,人类活动日益加剧,河口资源过度开发,使得大量的工业废水和生活污水通过各种途径排入河口区,而且排污量逐年增加,河口污染物浓度增高,河口及其邻近海域呈现水体富营养化。水体的富营养化除了引发赤潮外,还可能导致河口及附近水域的水体缺氧,甚至是缺氧,水体的缺氧通常导致相应水域生物群落结构的破坏,鱼类的饵料资源受到影响,浮游生物、水生植物、底栖生物等各种鱼类的饵料生物种类组成和数量发生变化,破坏鱼类的食物链(刘淑德等, 2008)。另外,来自工厂和航运的矿物油污染也越来越严重,而且沉积

油还可以引起二次污染,造成水体长期污染,破坏水体的正常生物化学过程,大面积破坏鱼类的产卵场和索饵场,破坏鱼类资源的自我更新机制,导致鱼类群落内生态位失调,并且使鱼类浮游生物体内的生理机制也发生改变,体内残毒增多,成活率降低,严重影响河口渔业资源结构(单秀娟等, 2004)。

### 3 结语

河口是流域的“汇”,又是海洋的“源”,对流域的自然变化和人类作用最为敏感,且与近岸海域的环境变化紧密相连,在地球系统中具有特殊意义。河口区是人口密集、经济发达的地区,在人类生存与社会发展过程中起着非常重要的作用。河口是鱼类的产卵场、育幼场和索饵场,是渔业资源的重要基地。鱼类浮游生物作为鱼类的补充资源,对鱼类种群的生存与延续、资源补充及保持生态平衡具有重要意义。河口鱼类浮游生物群落种类组成、数量的时空变化明显,受到温度、盐度、混浊度、水动力条件、食物和其他动物捕食等环境因素和大型工程建设、过度捕捞和污染等人为因素的影响。因此,加强河口鱼类浮游生物生态学研究,可以全面了解河口生态系统的结构和功能,及时掌握人类活动对河口资源的影响并寻找保护对策,其对于河口环境保护和可持续利用河口资源均具有十分重要的理论和实践意义。

### 参 考 文 献

江素菲,陈枫. 1993. 九龙江口鱼类浮游生物的生态. 台湾海峡, 12(4): 351-358  
 蒋玫,沈新强,王云龙,等. 2006. 长江口及其邻近水域鱼卵、仔鱼的种项组成与分布特征. 海洋学报, 28(2): 171-174  
 刘淑德,线薇薇,刘栋. 2008. 春季长江口及其邻近海域鱼类浮游生物群落特征. 应用生态学报, 19(10): 2284-2292  
 刘淑德,线薇薇. 2010. 三峡水库蓄水前后春季长江口鱼类浮游生物群落结构特征. 长江科学院院报,

27(10): 82-87  
 罗秉征,沈焕庭,等. 1994. 三峡工程与河口生态环境. 北京: 科学出版社  
 单秀娟,线薇薇,武云飞. 2004. 长江河口生态系统鱼类浮游生物生态学研究进展. 海洋湖沼通报, (4): 87-93  
 万瑞景,孙珊. 2006. 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, 52(1): 28-44  
 王凡,许炯心,等. 2004. 长江、黄河口及邻近海域陆海相互作用若干重要问题. 北京: 海洋出版社  
 王宏田,张培军. 1998. 环境因子对海产鱼类受精卵及早期仔鱼发育的影响. 海洋科学, (4): 50-52  
 王新安,马爱军,张秀梅,等. 2006. 海洋鱼类早期摄食行为生态学研究进展. 海洋科学, 30(11): 69-74  
 吴光宗. 1989. 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, 20(3): 217-229  
 线薇薇,罗秉征. 2015. 三峡工程蓄水前河口生态与环境. 北京: 海洋出版社  
 杨东莱,吴光宗,孙继仁. 1990. 长江口及其邻近海域的浮性鱼卵和仔稚鱼的生态研究. 海洋与湖沼, 21(4): 346-355  
 杨宇峰,王庆,陈菊芳,等. 2006. 河口浮游动物生态学研究进展. 生态学报, 26(2): 576-585  
 朱鑫华,刘栋,沙学坤. 2002. 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, 44: 169-179  
 Azeiteiro U M, Bacelar-Nicolau L, Resende P, et al. 2006. Larval fish distribution in shallow coastal waters off North Western Iberia (NE Atlantic). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 69(3-4): 554-566  
 Barletta-Bergan A, Barletta M, Saint-Paul U. 2002. Structure and seasonal dynamics of larval fish in the Caeté River Estuary in North Brazil. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 54(2): 193-206  
 Barnes R S K. 1974. Estuarine Biology (The Institute of Biology's Studies in Biology; No. 49). London: Edward Arnold  
 Berasategui A D, Acha E M, Fernández Araoz N C. 2004. Spatial patterns of ichthyoplankton assemblages in the Río de la Plata Estuary (Argentina-Uruguay). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 60(4): 599-610  
 Blaber S J M. 1997. Fish and Fisheries of Tropical Estuaries (Fish and Fisheries Series 22). London: Chapman and Hall  
 Butler J L, Jacobson L D, Barnes J T, et al. 2003.

- Biology and population dynamics of cowcod (*Sebastes levis*) in the southern California Bight. *Fishery Bulletin*, 101: 260-280.
- Chen Y H, Shaw P T, Wolcott T G. 1997. Enhancing estuarine retention of planktonic larvae by tidal currents. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 45(4): 525-533
- Churchill J H, Forward R B, Luettich R A, et al. 1999. Circulation and larval fish transport within a tidally dominated estuary. *Fisheries Oceanography*, 8(Suppl. 2): 173-189
- Costa M J, Vasconcelos R, Costa J L, et al. 2007. River flow influence on the fish community of the Tagus estuary (Portugal). *Hydrobiologia*, 587(1): 113-123
- Day J H. 1980. What is an estuary? *South African Journal of Science*, 76: 198
- Day J H. 1981. The nature, origin and classification of estuaries//Day J H. *Estuarine Ecology with Particular Reference to Southern Africa*. Rotterdam: A. A. Balkema: 1-6
- De Morais A T, De Morais L T. 1994. The abundance and diversity of larval and juvenile fish in a tropical estuary. *Estuaries*, 17: 216
- Drake P, Arias A M. 1991. Composition and seasonal fluctuations of the ichthyoplankton community in a shallow tidal channel of Cadiz bay (S.W. Spain). *Journal of Fish Biology*, 39(2): 245-263
- Drake P, Borlán A, González-Ortegón E. 2007. Spatio-temporal distribution of early life stages of the European anchovy *Engraulis encrasicolus* L. within a European temperate estuary with regulated freshwater inflow: effects of environmental variables. *Journal of Fish Biology*, 70(6): 1689-1709
- Drinkwater K F, Frank K T. 1994. Effects of river regulation and diversion on marine fish and invertebrates. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 4(2): 135-151
- Esteves E, Pina T, Chicharo M A, et al. 2000. The distribution of estuarine fish larvae: nutritional condition and co-occurrence with predators and prey. *Acta Oecologica*, 21(3): 161-173
- Faria A, Morais P, Chicharo M A. 2006. Ichthyoplankton dynamics in the Guadiana estuary and adjacent coastal area, South-East Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 70(1-2): 85-97
- Fiedler P C. 2002. Environmental change in the eastern tropical Pacific Ocean: review of ENSO and decadal variability. *Marine Ecology Progress Series*, 244: 265-283
- Fortier L, Leggett W C. 1984. Small-scale covariability in the abundance of fish larvae and their prey. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41(3): 502-512
- Forward R B, Tankersley R A. 2001. Selective tidal-stream transport of marine animals. *Oceanography and Marine Biology*, 39: 305-353
- Franco-Gordo C, Godínez-Domínguez E, Filonov A E, et al. 2004. Plankton biomass and larval fish abundance prior to and during the El Niño period of 1997-1998 along the central Pacific coast of México. *Progress in Oceanography*, 63(3): 99-123
- Garcia A M, Vieira J P, Winemiller K O. 2003. Effects of 1997-1998 El Niño on the dynamics of the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon estuary (Brazil). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(3): 489-500
- Gaughan D J, Neira F J, Beckley L E, et al. 1990. Composition, seasonality and distribution of the ichthyoplankton in the Lower Swan estuary, south-western Australia. *Marine and Freshwater Research*, 41(4): 529-543
- Gibson R N. 2003. Go with the flow: tidal migration in marine animals. *Hydrobiologia*, 503(1-3): 153-161
- Grange N, Allanson B R. 1995. The influence of freshwater inflow on the nature, amount and distribution of seston in estuaries of the Eastern Cape, South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40(4): 403-420
- Gray C A, Miskiewicz A G. 2000. Larval fish assemblages in South-east Australian coastal waters: seasonal and spatial structure. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50(4): 549-570
- Harris S A, Cyrus D P, Beckley L E. 2001. Horizontal trends in larval fish diversity and abundance along an ocean-estuarine gradient on the northern KwaZulu-Natal coast, South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53(2): 221-235
- Harris S A, Cyrus D P. 1995. Occurrence of fish larvae in the St Lucia estuary, KwaZulu-Natal, South Africa. *South African Journal of Marine Science*, 16(1): 333-350
- Harrison T D, Whitfield A K. 1990. Composition, distribution and abundance of ichthyoplankton in the Sundays River Estuary. *South African Journal of Zoology*, 25(3): 161-168
- Hernández-Miranda E, Palma A T, Ojeda F P. 2003. Larval fish assemblages in nearshore coastal waters off central Chile: temporal and spatial patterns.

- Estuarine, Coastal and Shelf Science, 56(5-6): 1075-1092
- Hettler W F, Hare J A. 1998. Abundance and size of larval fishes outside the entrance to Beaufort inlet, North Carolina. *Estuaries*, 21(3): 476-499
- Hjort J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of Northern Europe viewed in the light of biological research. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions*, 20: 1-228
- Holmes R H A, Henderson P A. 1990. High fish recruitment in the Severn Estuary: the effect of a warm year? *Journal of Fish Biology*, 36(6): 961-963
- Islam M S, Hibino M, Tanaka M. 2006. Distribution and diets of larval and juvenile fishes: influence of salinity gradient and turbidity maximum in a temperate estuary in upper Ariake Bay, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 68(1-2): 62-74
- Islam M S, Hibino M, Tanaka M. 2007. Tidal and diurnal variations in larval fish abundance in an estuarine inlet in Ariake Bay, Japan: implication for selective tidal stream transport. *Ecological Research*, 22(1): 165-171
- Islam M S, Tanaka M. 2006. Spatial variability in nursery functions along a temperate estuarine gradient: role of detrital versus algal trophic pathways. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63(8): 1848-1864
- Jager Z. 1998. Accumulation of flounder larvae (*Platichthys flesus* L.) in the Dollard (Ems estuary, Wadden Sea). *Journal of Sea Research*, 40(1-2): 43-57
- Jager Z. 1999. Selective tidal stream transport of flounder larvae (*Platichthys flesus* L.) in the Dollard (Ems estuary). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49(3): 347-362
- Kimmerer W J. 2002. Physical, biological, and management responses to variable freshwater flow into the San Francisco Estuary. *Estuaries*, 25(6): 1275-1290
- Livingston R J, Niu X F, Lewis F G, et al. 1997. Freshwater input to a gulf estuary: long-term control of trophic organization. *Ecological Applications*, 7(1): 277-299
- Monteleone D M. 1992. Seasonality and abundance of ichthyoplankton in Great South Bay, New York. *Estuaries*, 15(2): 230-238
- Mouny P, Dauvin J C. 2002. Environmental control of mesozooplankton community structure in the Seine estuary (English Channel). *Oceanologica Acta*, 25(1): 13-22
- Muhling B A, Beckley L E, Olivar M P. 2007. Ichthyoplankton assemblage structure in two meso-scale Leeuwin Current eddies, eastern Indian Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 54(8-10): 1113-1128
- Neira F J, Potter I C, Bradley J S. 1992. Seasonal and spatial changes in the larval fish fauna within a large temperate Australian estuary. *Marine Biology*, 112(1): 1-6
- Newton G M. 1996. Estuarine ichthyoplankton ecology in relation to hydrology and zooplankton dynamics in salt-wedge estuary. *Marine and Freshwater Research*, 47(2): 99-111
- Nixon S W. 2004. The artificial Nile. *American Scientist*, 92(2): 158-165
- North E W, Houde E D. 2003. Linking ETM physics, zooplankton prey, and fish early-life histories to striped bass *Morone saxatilis* and white perch *M. americana* recruitment. *Marine Ecology Progress Series*, 260: 219-236
- Palomera I. 1992. Spawning of anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Northwestern Mediterranean relative to hydrographic features in the region. *Marine Ecological Progress Series*, 79: 215-223
- Parrish J D. 1989. Fish communities of interacting shallow-water habitats in tropical oceanic regions. *Marine Ecology Progress Series*, 58: 143-160
- Potter I C, Beckley L E, Whitfield A K, et al. 1990. Comparisons between the roles played by estuaries in the life cycles of fishes in temperate Western Australia and Southern Africa. *Environmental Biology of Fishes*, 28(1-4): 143-178
- Rakocinski C F, Lyczkowski-Shultz J, Richardson S L. 1996. Ichthyoplankton assemblage structure in Mississippi sound as revealed by canonical correspondence analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43(2): 237-257
- Ramos S, Cowen R K, Paris C, et al. 2006a. Environmental forcing and larval fish assemblage dynamics in the Lima River estuary (northwest Portugal). *Journal of Plankton Research*, 28(3): 275-286
- Ramos S, Cowen R K, Ré P, et al. 2006b. Temporal and spatial distributions of larval fish assemblages in the Lima estuary (Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66(1-2): 303-314
- Reyier E A, Shenker J M. 2007. Ichthyoplankton community structure in a shallow subtropical

- estuary of the Florida Atlantic Coast. *Bulletin of Marine Science*, 80(2): 267-293
- Robertson A I, Alongi D M. 1992. *Tropical Mangrove Ecosystems*. Washington, D. C.: American Geophysical Union
- Roper D S. 1986. Occurrence and recruitment of fish larvae in a northern New Zealand estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 22(6): 705-717
- Ryder R A, Kerr S R, Taylor W W, et al. 1981. Community consequences of fish stock diversity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(12): 1856-1866
- Sabatés A, Martín P, Lloret J, et al. 2006. Sea warming and fish distribution: the case of the small pelagic fish, *Sardinella aurita*, in the western Mediterranean. *Global Change Biology*, 12(11): 2209-2219
- Sabatés A, Olivar M P, Salat J, et al. 2007. Physical and biological processes controlling the distribution of fish larvae in the NW Mediterranean. *Progress in Oceanography*, 74(2-3): 355-376
- Sánchez-Velasco L, Avalos-García C, Rentería-Cano M, et al. 2004. Fish larvae abundance and distribution in the central Gulf of California during strong environmental changes (1997-1998 El Niño and 1998-1999 La Niña). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(6-9): 711-722
- Sánchez-Velasco L, Jiménez-Rosenberg S P A, Lavín M F. 2007. Vertical distribution of fish larvae and its relation to water column structure in the southwestern Gulf of California. *Pacific Science*, 61(4): 533-548
- Sanvicente-Añorve L, Soto L A, Espinosa-Fuentes M L, et al. 2006. Relationship patterns between ichthyoplankton and zooplankton: a conceptual model. *Hydrobiologia*, 559(1): 11-22
- Schubel J R. 1968. Turbidity maximum of the northern Chesapeake Bay. *Science*, 161(3845): 1013-1015
- Schultz E T, Lwiza K M M, Fencil M C, et al. 2003. Mechanisms promoting upriver transport of larvae of two fish species in the Hudson River estuary. *Marine Ecology-Progress Series*, 251: 263-277
- Shoji J, Ohta T, Tanaka M. 2006. Effects of river flow on larval growth and survival of Japanese seaperch *Lateolabrax japonicus* (Pisces) in the Chikugo River estuary, upper Ariake Bay. *Journal of Fish Biology*, 69(6): 1662-1674
- Strydom N A, Whitfield A K, Wooldridge T H. 2003. The role of estuarine type in characterizing early stage fish assemblages in warm temperate estuaries, South Africa. *African Zoology*, 38(1): 29-43
- Strydom N A. 2003. Occurrence of larval and early juvenile fishes in the surf zone adjacent to two intermittently open estuaries, South Africa. *Environmental Biology of Fishes*, 66(4): 349-359
- Talbot C W, Able K W. 1984. Composition and distribution of larval fishes in New Jersey high marshes. *Estuaries*, 7(4): 434-443
- Taylor R H. 1982. *The St. Lucia Estuary: the aquatic environment: the physical and chemical characteristics*//Taylor R H. *St. Lucia Research Review*. Pietermaritzburg: Natal Parks Board: 42-56
- Tzeng W N, Wang Y T, Chang C W. 2002. Spatial and temporal variations of the estuarine larval fish community on the west coast of Taiwan. *Marine and Freshwater Research*, 53(2): 419-430
- Tzeng W N, Wang Y T. 1993. Hydrography and distribution dynamics of larval and juvenile fishes in the coastal waters of the Tanshui River estuary, Taiwan, with reference to estuarine larval transport. *Marine Biology*, 116(2): 205-217
- Weinstein M P, Weiss S L, Hodson R G, et al. 1980. Retention of three taxa of postlarval fishes in an intensively flushed tidal estuary, Cape Fear River, North Carolina. *Fishery Bulletin*, 78(2): 419-436
- Whitfield A K. 1989. Ichthyoplankton in a southern African surf zone: nursery area for the postlarvae of estuarine associated fish species? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 29(6): 533-547
- Whitfield A K. 1994. An estuary-association classification for the fishes of southern Africa. *South African Journal of Science*, 90: 411-417
- Whitfield A K. 1998. Biology and ecology of fishes in South African estuaries. *Ichthyological Monographs of the J. L. B. Smith Institute of Ichthyology*, (2): 223
- Whitfield A K. 1999. Ichthyofaunal assemblages in estuaries: a South African case study. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 9(2): 151-186
- Whitfield A K. 2005. Fishes and freshwater in southern African estuaries-a review. *Aquatic Living Resources*, 18(3): 275-289
- Wooldridge T H. 1999. *Estuarine zooplankton community structure and dynamics*//Allanson B R, Baird D. *Estuaries of South Africa*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press: 141-166
- Young G C, Potter I C. 2003. Do the characteristics of the ichthyoplankton in an artificial and a natural entrance channel of a large estuary differ? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56(3-4): 765-779

## Research Advance in Estuarine Ichthyoplankton Ecology

XIAN Wei-Wei<sup>1,2\*</sup>, ZHANG Hui<sup>1</sup>, LIU Shu-De<sup>1</sup>

(1. *The Key Laboratory of Marine Ecology and Environment Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China*; 2. *Laboratory of Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China*)

\*Corresponding author, E-mail: wwian@qdio.ac.cn

**Abstract** The estuary is a salt-fresh water mixed sea area with much nutriment, which has high primary productivity and abundance of zooplanktons. All of these conditions above provide a lot of preies for larval and adult fishes. Advances in ecological studies on estuarine ichthyoplankton are reviewed on the domestic and abroad published papers. This paper includes estuarine ichthyoplankton ecological types, species composition, spatial and temporal distribution, and the effects of the environmental and man-made factors. The environmental factors involve in temperature, salt, turbidity, food, the predation of other animals, and El Nino and La Nina, et al, while the man-made factors consist in the construction of large projects, overfishing, and pollution.

**Key words** estuary; fish early-resources; ichthyplankton; affecting factors