

河口浮游动物生态学研究进展

Research advances in estuarine zooplankton ecology

李开枝, 尹健强, 黄良民

(中国科学院 南海海洋研究所 热带海洋环境动力学重点实验室, 广东 广州 510301)

中图分类号: Q958.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2007)03-0072-04

河口位于河流与海洋的交汇处,是二者相互作用的复杂区域,其营养物质丰富,生物生产力大,生态环境多变。河口范围通常划分为三段:河口上游段,主要为淡水控制,每天经受潮汐的影响;河口中游段,发生咸淡水混合;河口下游段,与开阔的海洋自由相通。河口是一种独特的生态系统,理化环境与河流和海洋均有差异^[1-4]。河口是水产资源的宝库,是渔业的重要基地。浮游动物是河口生态系统中的一大种群,是重要的次级生产者,是食物链的关键环节,在河口生态系统结构、功能和生源要素循环中起着重要作用。浮游动物通过摄食浮游植物对河口区发生的赤潮有一定的抑制作用,浮游动物的动态变化又影响许多鱼类和无脊椎动物的种群生物量^[2-8]。因此,研究河口浮游动物的生态学具有十分重要的理论和实践意义。作者综述了20世纪80年代以来国内外河口浮游动物生态学若干方面具有代表性的研究成果,以为河口生态学及其相关研究和生物资源的可持续利用提供参考。

1 河口浮游动物生态的研究内容

1.1 种类组成、优势种及多样性

浮游动物种类组成及动态变化一直是河口生态系统研究的基础内容。桡足类是河口浮游动物的主要种类,原生动物、水母、毛颚类及其它浮游甲壳动物(枝角类、莹虾类、磷虾类和毛虾类)也是其重要的组成^[2,9-16]。河口浮游动物种类的组成在很大程度上取决于淡水和海水这两股水流的强弱程度。丰水期,半咸水种占优势;枯水期,近岸种和外海种占优势。河口浮游动物种类的多少受海洋环境的影响,从内河口向外河口有逐渐增加的趋势^[2,9]。河口浮游动物种类不如外海的多,但河口某些种(*Acartia* spp.和

Pseudodiaptomus spp.)的数量并不比外海少^[14],优势种比较单一。不同季节和区域里,优势种不同^[17]。物种多样性指数是衡量群落规模和重要性的基础,种类越多,个体数量分布越均匀,物种多样性指数越大,反映河口区域的空间异质性越高。河口丰水期的多样性指数高于枯水期的,南非 Mpenjati 河口^[12]和中国的长江口^[2]、珠江口^[18]的研究结果都证明了这一事实。

1.2 生态群落

径流和潮汐的交汇丰富了河口浮游动物群落,既有淡水和海洋种,又有河口特有的半咸水种,从而形成了一个复杂、庞大、多变的生物群落^[19]。温盐度、径流、沿岸流、潮汐等环境因子影响浮游动物的群落结构。根据不同的影响因子和方法,分析不同调查时期的河口浮游动物,得出不同类型的生态群落。郭沛涌等采用 Pearson 相关系数和最短距离法分析长江河口的浮游动物,枯水期形成河口类群、近岸类群和近外海类群,丰水期形成近岸类群和近外海类群。随着季节的变化,不同性质的水系之间的相互推移和消长,以致不同生态类群不论在种类更替或数量上以及小区的分布范围,均呈现出显著的动态变化^[2,20-23]。

1.3 丰度和生物量的时空分布

河口浮游动物丰度和生物量有明显的时空变化。

收稿日期:2004-05-29;修回日期:2004-08-31

基金项目:国家重大基础研究资助项目(2001Cb409707);中国科学院创新项目(ZKCX2-SW212-01);国家杰出青年基金港澳合作项目(40229008)

作者简介:李开枝(1977-),女,河南信阳人,硕士,研究方向为海洋浮游动物分类和生态学,电话:020-89023202, E-mail:kzli38@hotmail.com

浮游动物丰度季节变化的特点一般是夏季丰度较高,由咸淡水种和某些阶段性浮游动物即底栖动物的浮游幼虫突然激增所致;冬季较低,这与温度低、食料少、多敌害的大量摄食有关^[11,12,19]。其余季节种类虽多,但丰度没有夏季高。浮游动物生物量是指单位水体中所含某种浮游动物或全部浮游动物的质量,对理解生态系统中能量物质的流动有着重要意义^[24]。浮游动物丰度高的区域,通常出现高生物量,如 Kasouga 河口和长江河口等^[11,22,23]。由于河口的空间异质性强,生物量高值区不一定与高丰度区吻合,可能是某些种类如糠虾、毛虾等大型浮游动物呈斑块状分布,贡献出高生物量^[25,26]。河口浮游动物生物量的季节变化明显,年际之间的变化不显著。内河口浮游动物的丰度和生物量一般小于外河口。

1.4 摄食和垂直移动研究

河口浮游动物一方面对浮游植物进行摄食,另一方面被糠虾、仔稚鱼、水母等大型浮游动物摄食,从而构成河口生态系统中极为复杂的食物链^[27]。Froneman^[13,28]采用 Pearson 相关分析 Kasouga 河口发现浮游动物群落的摄食压力与浮游植物生物量和初级生产力有显著的相关性 ($P < 0.05$)。经典食物链认为,河口大中型浮游动物是浮游植物的主要摄食者,研究发现河口营养盐的变化引起浮游植物粒级结构的改变,导致经典食物链和微食物链之间对碳转途径和效率发生改变,微型浮游动物的摄食占有重要地位^[7,8,29-32]。随着河口环境和饵料条件的变化,浮游动物发生相应的功能群转换,出现选择性摄食^[33,34]。浮游动物因外界环境和自身生理变化等原因出现昼夜垂直迁移现象。影响河口浮游动物垂直移动的外在因素有:季节、光强、月相、温盐和潮汐周期;内在因素有:生理节律、年龄、性别和产卵情况。浮游动物依海流、食物和捕食进行垂直迁移的弹性机制很重要^[35-38]。有毒重金属和有机化合物在河口生态系统内通过浮游动物的垂直移动和摄食在食物链中迁移、转化、积累和放大效应是河口浮游动物生态研究的一个新方向。

河口浮游动物许多生态特征出现明显的季节、年际和空间变化,影响因素多种,作用复杂。近几年 Ekrem 和 Li^[39]采用盒子模型 (box model) 或生物-物理双模型来模拟加拿大 Georgia - Juan 河口浮游动物生物量的季节变化和浮游动物种群的动态变化来探讨影响浮游动物生态特征变化的因素。

2 影响河口浮游动物生态特征的因素

2.1 径流

径流季节性地影响河口的状态和浮游动物种类组成及多样性、生物量、摄食压力等。径流量的大小决定河口的开放程度。径流量大,半咸水种多,成为丰水期的优势种,并且半咸水种随着冲淡水的迁移向海外推移,有时会在海外短暂性出现,并且由于淡水种的冲入和海外种的浸入,其多样性指数显著高于枯水期的指数,特别是在河口下游,多样性指数较高^[2,12-18]。有些河口浮游动物生物量随径流量增大而增加(如长江河口),珠江河口的浮游动物生物量随径流量的增大而降低。前者可能是淡水携带大量营养盐,刺激浮游植物的大量繁殖,提高浮游动物的饵料浓度,进而增加浮游动物生物量,后者是由于盐度过低,限制了某些种类的生存。径流还会影响河口温盐跃层位置的变动和浑浊度的变化^[35-40]。

2.2 盐度

河口盐度变化主要受冲淡水和海水相互交替的影响,分为水平盐度梯度和垂直盐度梯度。丰水期,从河口上游到下游盐度呈递增趋势,底层盐度比表层盐度高;枯水期,水平和垂直盐度梯度变化范围小。盐度影响浮游动物种类组成及数量的空间分布和群落结构,有些高盐桡足类会受到表层低盐水的抑制,停止向上移动。浮游动物对盐跃层的反应有4种:栖息在盐跃层内;栖息在盐跃层下;栖息在盐跃层之上;在盐跃层上下之间迁移,了解盐跃层对浮游动物的影响,可以更好地理解河口浮游动物对碳通量的转移^[36]。盐度通过渗透和离子调节机制影响浮游动物的生理变化^[19,36]。

2.3 其它因素

河口温度有明显的季节和空间变化。温度影响浮游动物种类和丰度的时空变化,促使优势种的更替^[31]。温度还能从生理角度影响优势类群浮游桡足类的产卵量、卵的孵化率、受精卵到成体的发育时间以及桡足类寿命等。潮汐是一种高水平的扰动,潮汐流的方向、流速、水平对流和垂直混合作用影响浮游动物丰度变化,还会引起浮游动物的生理变化。枯水期,潮汐流的影响较强烈^[2,26,38,41-42]。径流和潮汐的混合作用使河口出现明显的浑浊度变化。河口最大浑浊带是咸淡水交汇的高浊度海区,是生物能够生存的一种特殊生境,营养盐丰富,光照条件恶劣,高浑浊度对浮游动物的种类、丰度及多样性等有一定的影响^[43,44]。

3 河口浮游动物生态学研究中的问题

3.1 缺乏长期的监测数据

浮游动物生态研究是河口生态系统研究的一部分,从近阶段的河口调查研究看,一般对河口浮游动物的调查时间为一年或者是四个季节里具有代表性的月份,尚缺少连续的跟踪调查。大尺度的气候变化对浮游动物的种类组成和丰度的影响不是在短时间内就能表现出来的,像厄尔尼诺现象的出现,河口生态系统才会出现较大的波动,浮游动物种群动态变化显著。要阐明河口区浮游动物生态学基本规律,较长时间的资料积累是必不可少的。现在的研究趋势过分强调环境因子的影响,很少重视浮游动物自身的生理变化,没有把理化因素和生物因素很好地结合起来。

3.2 忽略浮游动物在河口水质监测中的作用

生物与环境的和谐统一是生物与环境互相作用的结果。水环境决定了生物种群或群落结构特征;反之,生物的个体、种群或群落的变化,可以客观地反映出水体质量的变化规律。因此,通过对河口浮游动物种类组成、时空分布、生物量及群落结构变化等生态学特征进行分析,并结合有关理化指标,可以更好地对河口环境进行监测。由于河口环境变化大,对这个特殊生态系具有指示作用浮游动物显得重要,特别是某些敏感种,可以作为河口水质监测的首选种。

4 结语

中国是一个河口众多的国家,其中有些大的河口,如长江口、黄河口、珠江口等不仅是水产资源的宝库,还是渔业的重要基地。河口受到“三废”污染的影响日益严重,特别是有毒污染物,如农药化肥的排放、河口航道的开挖及频繁的海上运输,导致河口生态系统被严重破坏,赤潮频频发生。虽然大量浮游动物的繁殖、聚集和分布对净化水体有一定作用,但是大量的有毒污染物通过食物链进行毒素积累,已经危害到人类健康。浮游动物是河口这一特殊生态系统中重要的组成部分,通过浮游动物生态学特征研究分析,可为河口水质监测和河口生态系统的保护以及生物资源的可持续利用提供重要的理论依据。

参考文献:

- [1] 戴志军,任杰,周作付.河口定义及分类研究进展[J].台湾海峡,2000,19(2):254-260.
- [2] 郭沛涌,沈焕庭,刘阿成,等.长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性[J].生态学报,2003,22(5):892-900.

- [3] 杨宇峰,黄祥飞.浮游动物生态学研究进展[J].湖泊科学,1999,12(1):81-89.
- [4] 郭沛涌,沈焕庭.河口浮游植物生态学研究进展[J].应用生态学报,2003,14(1):139-142.
- [5] 郑重,李少菁,许振祖.海洋浮游生物学[M].北京:海洋出版社,1984.40-599.
- [6] 蒲新明,孙松.海洋中赤潮藻类与浮游动物的相互作用[J].海洋科学,2002,26(11):14-17.
- [7] 王荣,范春雷.东海浮游桡足类的摄食活动及其对垂直碳通量的贡献[J].海洋与湖沼,1997,28(6):579-587.
- [8] 张武昌,张芳,王克.海洋浮游动物粪便通量[J].地球科学进展,2001,16(1):113-118.
- [9] Fu Y Y, Yin J Q, Chen Q C, et al. Distribution and seasonality of marine zooplankton in the Pearl River Estuary [A]. Huang C J, Zhu J H, Chen Q C, et al. Environmental research in Pearl River and Coastal Area[C].Guangzhou: Guangzhou higher education press, 1995.25-33.
- [10] Perissinotto R, Walker D R, Webb P, et al. Relationships between zoo-and phytoplankton in a warm-temperate, semi-permanently closed estuary, South Africa[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, 51(1):1-11.
- [11] Froneman P W. Zooplankton community structure and biomass in a southern African temporarily open/closed estuary[J].*Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 60(1):125-132.
- [12] Kibirige I, Perissinotto R. The zooplankton community of the Mpenjati estuary, a South African temporarily open/closed system[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, 58(4):727-741.
- [13] Froneman P W. Seasonal changes in zooplankton biomass and grazing in a temperate estuary, South Africa[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2001, 52(5):543-553.
- [14] Luís V, Ulisses A, Pedro Ré, et al. Zooplankton distribution in a temperate estuary (Mondego estuary southern arm: Western Portugal) [J]. *Acta Oecologica*, 2003, 24(1):S163-S173.
- [15] Taylor C J, Rand P S. Spatial overlap and distribution of anchovies (*Anchoa* spp.) and copepods in a shallow stratified estuary[J]. *Aquatic Living Resources*, 2003, 16:191-196.
- [16] Gaughan D J, Potter I C. Composition, distribution and seasonal abundance of zooplankton in a shallow, seasonally closed estuary in temperate Australia[J].*Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1995, 41(2):117-135.
- [17] Mouny P, Dauvin J C. Environmental control of mesozooplankton community structure in the Seine estuary (English

- Channel) [J]. *Oceanologica Acta*, 2002, 25(1):13-22.
- [18] 黄良民, 王华祥. 珠江口及邻近海域环境动态与基础生物结构初探[J]. *海洋环境科学*, 1997, 16(3): 1-7.
- [19] 郑重. 河口浮游生物研究[J]. *自然杂志*, 1982, 5(3): 218-221.
- [20] 徐兆礼, 沈新强, 袁骥, 等. 杭州湾洋山岛周围海域浮游动物分布特征[J]. *水产学报*, 2003, 27(Suppl):69-75.
- [21] 赖伟, 林温育, 堵南山. 长江口浮游动物生态的初步研究[A]. 中国海洋湖沼学会. 第四次中国海洋湖沼科学会议论文集[C]. 北京: 科学出版社, 1991.158-163.
- [22] 陈亚瞿, 郑国兴, 朱启琴. 长江口区浮游动物初步研究[J]. *东海海洋*, 1985, 3(3): 53-61.
- [23] 徐兆礼, 王云龙, 白雪梅, 等. 长江口浮游动物生态研究[J]. *中国水产科学*, 1999, 6(5): 55-58.
- [24] 左涛, 王荣. 海洋浮游动物生物量测定方法概述[J]. *生态学杂志*, 2003, 22(3): 79-83.
- [25] 雷铭泰, 刘承松, 林铁军. 珠江河口区浮游甲壳类资源的研究[A]. 广东省海岸带和海涂资源综合调查领导小组办公室. 珠江口海岸带和海涂资源综合调查研究文集(三) [C]. 广州: 广东科技出版社, 1985. 9-16.
- [26] 黄良民, 陈清潮, 陈东娇, 等. 珠江虎门附近水域基础生物量与环境关系初步研究[A]. 黄创俭, 朱嘉濠, 陈清潮, 等. 珠江及沿岸环境研究[C]. 广州: 广东省高等教育出版社, 1995. 5-12.
- [27] 陈亚瞿, 徐兆礼, 王云龙, 等. 长江河口锋区浮游动物生态研究 生物量及优势种的平面分布[J]. *中国水产科学*, 1995, 2(1): 49-58.
- [28] Froneman P W. Seasonal variations in selected physico-chemical and biological variables in the temporarily open/closed Kasouga estuary(South Africa)[J]. *African Journal of Aquatic Science*, 2002, 27:117-123.
- [29] Froneman P W. Food web dynamics in a temperate temporarily open/closed estuary (South Africa) [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 59(1):87-95.
- [30] Simenstad C A, Small L F, David M C. Consumption processes and food web structure in the Columbia River Estuary[J]. *Progress In Oceanography*, 1990, 25(1-4):271-297.
- [31] Rolland S, Fulton III. Interactive effects of temperature and predation on an estuarine zooplankton community[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1983, 72(1):67-81.
- [32] Grange N, Whitfield A K, Villiers De, et al. The response of two South African east coast estuaries to altered river flow regimes[J]. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2000, 10:155-177.
- [33] Froneman P W. Feeding studies on selected zooplankton in a temperate estuary, South Africa[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, 51(5):543-552.
- [34] 李超伦, 王克. 植食性浮游桡足类摄食生态学研究[J]. *生态学报*, 2002, 22(4):593-596.
- [35] Lougee L A, Bollens S M, Arent S R. The effects of haloclines on the vertical distribution and migration of zooplankton[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2002, 278(2):111-134.
- [36] Morgan C A, Cordell J R, Simenstad C A. Sink or swim? Copepod population maintenance in the Columbia River estuarine turbidity-maxima region[J]. *Mar Biol*, 1997, 129:309-317.
- [37] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 第二版. 北京: 科学出版社, 2002.32-94.
- [38] Fernando M, Henrique Q, Fernando M, et al. Zooplankton abundance in a coastal station off the Ria de Aveiro inlet (north-western Portugal):relations with tidal and day/night cycles[J]. *Acta Oecologica*, 2003, 24: 175-181
- [39] Kalmaz E V. Mathematical model and computer simulation of the population dynamics of zooplankton in lake and estuary ecosystems [J]. *Ecological Modelling*, 1978, 5(3):225-235.
- [40] Cyrus D P, Blaber S J M. The influence of turbidity on juvenile marine fishes in estuaries. Part 1. field studies at Lake St. Lucia on the southeastern coast of Africa[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1987, 109(1):53-70.
- [41] Roddie B D, Leakey R J G, Berry A J. Salinity-temperature tolerance and osmoregulation in *Eurytemora affinis* (Poppe) (Copepoda: Calanoida) in relation to its distribution in the zooplankton of the upper reaches of the Forth estuary[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1984, 79(2):191-211.
- [42] Marc G, Guy L. The effects of tidal advection and mixing on the statistical dispersion of zooplankton[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1981, 56(1):9-22.
- [43] 顾新根, 袁骥, 沈焕庭, 等. 长江口最大浑浊带浮游植物生态学研究[J]. *中国水产科学*, 1995, 2(1): 13-27.
- [44] 徐兆礼, 王云龙, 陈亚瞿, 等. 长江口最大浑浊带浮游动物的生态研究[J]. *中国水产科学*, 1995, 2(1): 39-48.

(本文编辑:张培新)