

瓯江口春季营养盐、浮游植物和浮游动物的分布

陈 雷^{1,*}, 徐兆礼², 姚炜民¹, 张 钊¹, 陈 胜¹, 蔡圣伟¹, 鲍旭平¹

(1. 国家海洋局温州海洋环境监测中心站, 温州 325027; 2. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

摘要: 研究 2007 年 4 月瓯江口海域 ($27^{\circ}38' \sim 28^{\circ}02'N$, $120^{\circ}50' \sim 121^{\circ}14'E$) 浮游生物空间分布特征, 分析这一分布特征与营养盐和其他水文要素之间的联系。结果表明, 悬浮物浓度、DIP 和 DIN 分布特征均是近河口最高, 由近河口向外数量逐渐减少。在灵昆岛南侧和东南侧近口水域, 是 DIP 和 DIN 的高值中心, 但该水域高浓度悬沙使水体透光率较低, 不利于浮游植物生长。在口门外侧海域, 悬沙浓度已经明显降低, 因而是浮游植物高密度区域。浮游植物和浮游动物丰度分布趋势基本相同, 由内海向外海数量逐渐递减; 其中, 大型浮游动物丰度和浮游植物丰度, 小型浮游动物丰度和浮游植物丰度之间显著地呈线性正相关关系。这一特征的形成, 主要由瓯江口营养盐和悬浮物分布特征决定, 浮游动物与浮游植物空间分布的一致性, 很好地反映出浮游动物对浮游植物有效的下行控制, 从而使水域生态系统在此季节保持稳定。

关键词: 浮游动物; 浮游植物; 营养盐; 悬沙; 瓯江口

文章编号: 1000-0933(2009)03-1571-07 中图分类号: S922.93 文献标识码: A

The distribution of nutrients, phytoplankton and zooplankton in spring of the Oujiang River estuary

CHEN Lei^{1,*}, XU Zhao-Li², YAO Wei-Min¹, ZHANG Zhao¹, CHEN Sheng¹, CAI Shen-Wei¹, BAO Xu-Ping¹

1 Wenzhou Marine Environmental Monitoring Center Station, SOA, Wenzhou 325027, China

2 East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1571 ~ 1577.

Abstract: The characteristics of the spatial distribution of plankton in the Oujiang River estuary ($27^{\circ}38' \sim 28^{\circ}02'N$, $120^{\circ}50' \sim 121^{\circ}14'E$) was investigated in April, 2007. The correlation between the distribution of plankton and nutrients as well as the other hydrological parameters was studied, and the results were presented in the paper. The concentration of suspended particulate (SP), dissolved inorganic phosphorus (DIP) and dissolved inorganic nitrogen (DIN) decreased gradually from the estuary to offshore. The highest concentration of DIP and DIN was detected in the south of Lingqun Island and the southeast of the Oujiang River estuary. However, the growth of phytoplankton was limited by light intensity due to high SP in the estuary. High abundance of phytoplankton was observed outside the estuary as light condition improved because of decreasing SPM concentration. The abundance of zooplankton decreased gradually from the coastal region to offshore and in coincidence with that of phytoplankton. The abundance of macro- and micro-zooplankton was significantly correlated with that of phytoplankton, suggesting the limitation of nutrients and SP on production in the Oujiang River estuary. The coincidence in the distribution of zooplankton and phytoplankton indicates the top-down control of zooplankton on the growth of phytoplankton. We conclude that the ecosystem in the Oujiang River estuary was sustained and stabilized from the interaction between SP, nutrients, phytoplankton and zooplankton in spring.

Key Words: zooplankton; phytoplankton; nutrients; suspended particulate; Oujiang River estuary

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划资助项目 (90511005)

收稿日期: 2008-05-15; 修订日期: 2008-12-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chenlei@eastsea.gov.cn

瓯江口海域位于东海南部,其间散布 100 多个岛屿和众多海湾,地处亚热带季风区北端。由于瓯江径流带来丰富的营养盐,加上复杂的地形所形成上升流,造就了当地水域丰富的浮游生物。而河口地区自然环境独特的理化特征对浮游生物的分布也具有一定的影响。

在河口生态系统中,营养盐是浮游植物形成的生源要素,浮游动物以浮游植物为饵料。其中,小型浮游动物是浮游植物最重要的消费者^[1,2],因此研究营养盐、浮游植物和浮游动物之间数量的此消彼长的规律,可以反映物质在生态系统中的流动特征。在我国,以往有对河口生物要素的研究^[3]、有对浮游植物^[4,5]和对浮游动物的研究^[6],但这些研究往往都是单一的,很少有多学科综合研究。国外综合研究并不少见^[7]。本文对瓯江口浮游生物的空间分布的研究,讨论这一分布特征与营养盐分布的联系,对于科学界认识近海及河口海洋生态动力学过程,填补我国以往这一领域多学科研究的空白具有重要的理论和实际意义。

1 材料与方法

2007 年 4 月 26 日~27 日在瓯江口 27°38'~28°02'N、120°50'~121°14'E 海域进行海洋综合调查,海洋化学和浮游生物调查共设 25 个站位,站位布设参见图 1。站位水深 8~20m。调查期间共采集水化学样 25 个,水质分析指标虽然分表层两层采集,考虑到表层指标与浮游生物有较大的关系,实际分析时仅采用表层指标。水质分析项目有水温,盐度,可溶性磷酸盐,可溶性无机氮,悬浮物,叶绿素 a 等。其中温度测定,采用颠倒温度计法,盐度的测定采用盐度计法,悬浮物测定采用重量法,可溶性磷酸盐采用磷钼蓝分光光度法,可溶性无机氮为硝酸盐,亚硝酸盐和氨氮的总和。另外分析浮游生物样品 75 个。水化学样品采集、处理和测定以及浮游生物样品采集和室内处理均按照“海洋监测规范”进行^[8,9]。其中,浮游植物采用海洋生物浅水 III 型网(口径 37cm、网目孔径 0.077 mm),小型浮游动物采用浅水 II 型网(口径 50 cm、网目孔径 0.160 mm),大型浮游动物采用浅水 I 型网(口径 80 cm、网目孔径 0.505 mm)由底至表层垂直拖曳采集,在 5% 的福尔马林溶液中固定,带回实验室。标本分析按个体计数法在立体显微镜下鉴定到种,浮游生物丰度的单位为 ind/m³。大型浮游动物网样品中仅仅计数大型浮游动物丰度,其中的小型桡足类不予计数。

分析环境因子变化与总丰度变化之间的相关性,用同步观测到的资料,分别取无机磷、无机氮作自变量,以浮游植物总丰度为因变量,采用回归分析方法计算。为了考察浮游动物和浮游植物之间的数量关系,以每个站位浮游植物丰度为自变量,分别以小型浮游动物和大型浮游动物丰度为因变量进行线性回归分析。

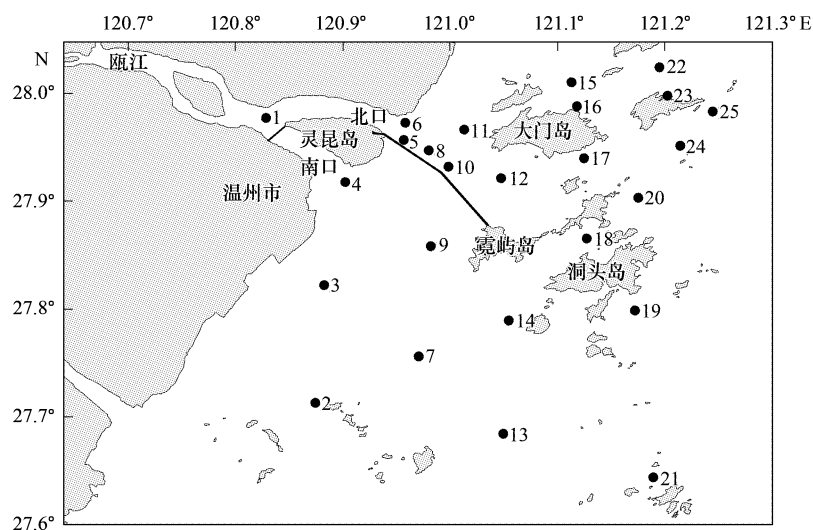


图 1 调查站位

Fig. 1 Sampling stations

瓯江 Ouyang River, 北口 North branch of the Ouyang River, 南口 South branch of the Ouyang River, 温州市 Wenzhou, 灵昆岛 Lingkun Island, 大门岛 Damen Island, 霓屿岛 Niyu Island, 洞头岛 Dongtou Island

2 结果

2.1 无机磷(DIP)和无机氮(DIN)的平面分布

在瓯江口水域,DIP 和 DIN 分布特征均呈近河口最高(表 2),由近河口向外逐渐减少。南部水域浓度高于北部水域。但是,DIP 扩散在南部水域比北部水域更加明显,因而在南部形成明显的浓度梯度变化。DIN 扩散方向相反,在北部水域形成由内向外的浓度梯度。

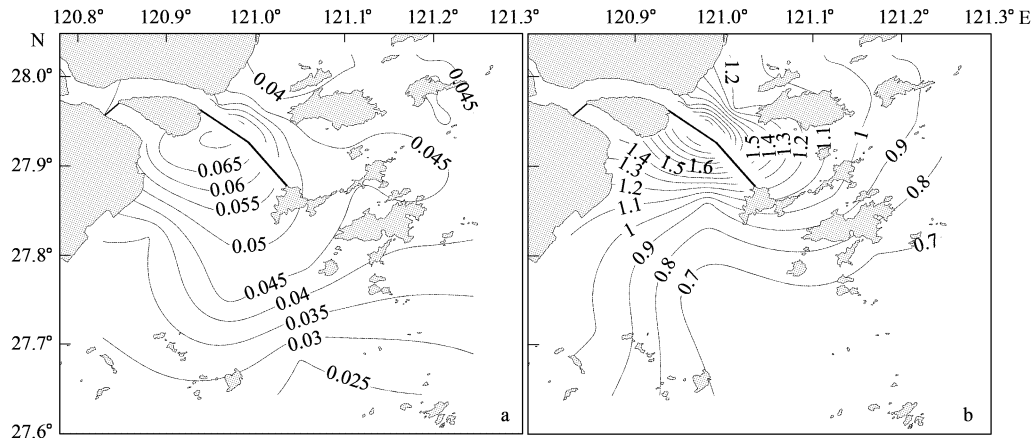


图2 瓯江口 DIP 和 DIN 平面分布(mg/L)

Fig. 2 Distribution of DIP and DIN off the Oujiang River estuary (mg/L)

a. 无机磷(DIP) b. 无机氮(DIN)

2.2 浮游植物和悬浮物的关系

瓯江口悬浮物浓度总体上呈由瓯江口向外海快速降低趋势(图 3),其中灵昆岛南侧和东南侧是悬浮物浓度的高值中心。相关分析表明,悬浮物与浮游植物数量变化并非呈线性相关关系($R = 0.26$, $p = 0.3575$)。南部水域悬浮物浓度明显高于北部水域。

2.3 浮游生物密度的平面分布

4 月共鉴定浮游植物 55 个种。从表 4 可见,高丰度区位于瓯江南口口外 3 号站,最高丰度达 $243.80 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$,基本上由中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)构成,其丰度达 $211.30 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$,该站位的表温 16.80°C ,表盐 27.50,可溶性磷酸盐 0.05 mg/L ,无机氮 0.66 mg/L ;其次是邻近的 9 号站,总丰度达 $157.60 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$,主要由中肋骨条藻($59.70 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$),以及琼氏圆筛藻(*Coscinodiscus jonesianus*)($51.10 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$)构成,表盐 16.01,可溶性磷酸盐 0.06 mg/L ,无机氮 2.06 mg/L 。外海水域丰度较低,基本上不超过 $10.00 \times 10^3 \text{ ind/m}^3$ 。

4 月共鉴定中型浮游动物 42 个种。高丰度区位于瓯江南口口外近霓屿岛的 9 号站位(表 5),最高丰度达 $318.75 \times 10^2 \text{ ind/m}^3$,小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)占绝对优势,丰度高达 $175.78 \times 10^2 \text{ ind/m}^3$,其次是近缘大眼剑水蚤(*Corycaeus affinis*),丰度 $102.23 \times 10^2 \text{ ind/m}^3$,其它种类也有较多的数量;次高丰度区位于瓯江南口外 3 号站,丰度达 $153.33 \times 10^2 \text{ ind/m}^3$,同样主要由小拟哲水蚤($103.75 \times 10^2 \text{ ind/m}^3$)和近缘大眼剑水蚤($22.86 \times 10^2 \text{ ind/m}^3$)构成。东南部水域丰度较低,基本上不超过 $10.00 \times 10^2 \text{ ind/m}^3$ 。

4 月共鉴定大型浮游动物 36 个种。最高丰度位于瓯江北口外 11 号站,丰度为 413.00 ind/m^3 ,主要种类

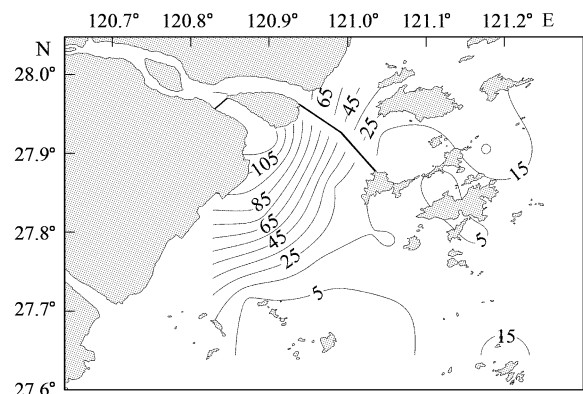


图3 瓯江口悬浮物浓度的分布(mg/L)

Fig. 3 Distribution of suspended particulate off the Oujiang River estuary (mg/L)

是短尾类状体 (233.30 ind/m^3)、中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*) (133.30 ind/m^3)。此外南部水域范围较大的高丰度区,主要种类是也有中华哲水蚤。瓯江口内 1 号站位丰度较高,主要是出现较多的长额刺糠虾 (*Acanthomysis logirostris*) (136.00 ind/m^3) 和中华哲水蚤 (84.00 ind/m^3) 所致。北部水域只有个别站位丰度较高,总体上南部水域数量高于北部岛屿之间水域,外海数量最低(图 6)。

2.4 浮游动物丰度和浮游植物丰度的相关关系

浮游动物和浮游植物丰度有显著的线性相关关系。大型浮游动物丰度(Y_1)和浮游植物丰度(X)之间的回归方程为 $Y_1 = 71.0314279 + 0.000647X$ ($R = 0.42$, $F = 5.05$, $p = 0.03$);小型浮游动物丰度(Y_2)和浮游植物丰度(X)之间的回归方程为 $Y_2 = -422.08 + 0.0723X$ ($R = 0.61$, $F = 13.90$, $p = 0.001$)。

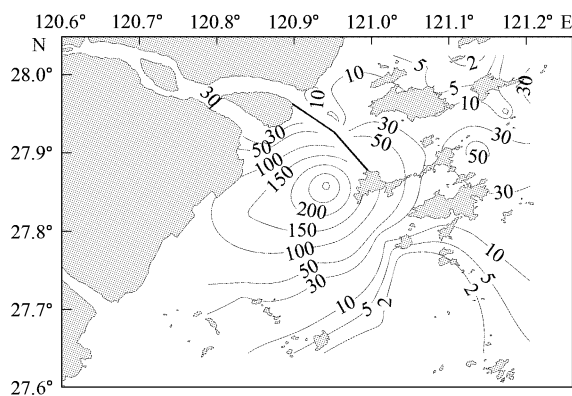


图 5 瓯江口小型浮游动物丰度分布 (10^2 ind/m^3)

Fig. 5 Distribution of small-zooplankton abundance off the Oujiang River estuary (10^2 ind/m^3)

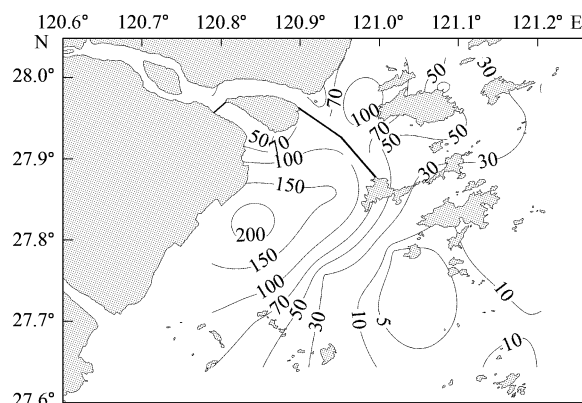


图 4 瓯江口浮游植物丰度分布 (10^3 ind/m^3)

Fig. 4 Distribution of phytoplankton abundance off the Oujiang estuary (10^3 ind/m^3)

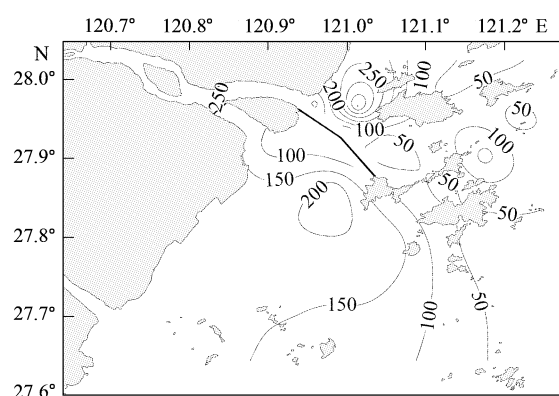


图 6 瓯江口大型浮游动物丰度分布 (ind/m^3)

Fig. 6 Distribution of meso-zooplankton abundance off the Oujiang River estuary (ind/m^3)

3 讨论

3.1 浮游植物平面分布特征及其成因分析

影响瓯江口海域的水系有 3 股:东南有来自台湾暖流的高温高盐水,东北有来自浙江沿海的东海沿岸水,西部有瓯江径流^[10]。其中外海来的两股水流都具有高盐、高透明度、低营养盐和低悬浮物的特征,但是瓯江径流却富含来自陆源的泥沙和营养盐。瓯江口水域是河口径流和潮流两大动力相互作用的地带,由于潮流和径流动力优势在这里转换,形成滞流区。因此,在口门附近,潮流和径流变形明显,引起床沙悬浮,水体含沙量增高,同时咸淡水交汇和重力环流活跃,泥沙容易在此凝聚、聚集,出现河口的最大浑浊带现象。许多研究表明^[12~14],在河口口门水域,尽管营养盐丰富,但由于高浓度悬沙的作用,影响这一水域的透光率,形成浮游植物较低的数量^[11],这也是图 2 所示瓯江口北口水域浮游植物数量较低的原因。

尽管瓯江南口灵昆岛南侧和东南水域营养盐极为丰富(图 5),浮游植物却处于较低水平(图 2),这与该水域悬沙含量较高(图 6),高浓度悬沙使水体透光率迅速降低有密切的关系^[15]。同长江口水域浮游植物分布特征相同^[16],瓯江口浮游植物高密度出现水域也位于口门外侧悬沙浓度已经降低的水域(图 2),这一水域营养盐仍处于较高数量(图 5),但是悬沙浓度有了明显的降低,仅为口门水域的 60%,因此浮游植物出现了

较高的数量。从近河口向外侧,由于营养盐含量逐渐降低,浮游植物数量明显减少,尽管这些水域悬沙含量已经很小,然而营养盐浓度的明显降低,有效的限制了浮游植物数量的增长。这样的现象在美国华盛顿州西北部太平洋沿岸的皮尤吉特湾^[17]、美国东海岸的切萨皮克湾^[18]和中国南部近海^[19]都曾观察到。

在瓯江口,南部水域水体的营养盐含量明显大于北部水域。实际上,瓯江径流主要从灵昆岛以北的瓯江北口下泻^[10]。瓯江的南口由于筑有浅坝,加上淤积,径流量较少,水体中营养盐含量应该少于北口。瓯江口何以会发生径流量和营养盐含量背离的异常现象,答案在于瓯江南口是温州城市污水的排污口,城市污水不利于浮游植物成长,这也是南口口门水域浮游植物数量较低的原因。污水中的高浓度营养物质使得南口水体中营养盐的浓度大大地增加。到了外侧水域,其中污水成分逐渐被稀释。水团带来丰富的营养盐,形成南口外侧较高的浮游植物密度。

3.2 浮游动物和浮游植物的关系

在瓯江口,浮游植物和浮游动物分布趋势基本相同,都是由内向外数量逐渐减少。这从浮游动物与浮游植物密度显著相关可见。相比之下,小型浮游动物与浮游植物在空间分布上有更为密切的关系,其与浮游植物密度相关性显著, p 值为 0.001 也印证了这一点。Dagg^[20]研究证实无论是大型浮游动物还是小型浮游动物对浮游植物都构成捕食和被捕食关系。在浮游植物较多的水域,浮游动物饵料相对丰富,这就为浮游动物种群生长创造了重要的条件,形成了浮游动物丰度较高的水域,这就是为什么瓯江口近河口浮游植物和浮游动物同步较多的原因。

研究发现,瓯江南口近灵昆岛一侧浮游植物密度较低,主要由高浓度悬浮物所致。同浮游植物一样,此处也是浮游动物数量较少的水域,悬沙不但通过抑制浮游植物,间接影响浮游动物生长,还通过堵塞浮游动物鳃组织,直接影响浮游动物生长。在口门外悬沙含量较少的水域,不但是浮游植物,也是浮游动物数量较多的水域,而这两个高丰度区几乎重叠。这一水域外部同是浮游植物和浮游动物数量较少的水域,小型浮游动物数量减少如同浮游植物,非常明显,但大型浮游动物减少没有浮游植物那么显著,其高数量区可以分布更加广泛。分析这一现象的产生,由于大小型浮游动物之间游泳能力的差别所致。

对于小型浮游动物和浮游植物而言,都是浮游植物数量较大的水域,也是小型浮游动物数量较大的水域。但是大型浮游动物有所不同,在瓯江北口的 11 号站位,出现了大型浮游动物高数量区域,最高丰度达到 413.00 ind/m^3 。由于这些水域处于瓯江径流和外海水交汇区^[10],浮游动物高数量区域的出现,可能与不同水团交汇有关,最后使得瓯江口北口附近水域大型浮游动物数量较高的现象。

3.3 瓯江口水域生态系统稳定性的分析

对海洋生物而言,群落稳定与群落结构相关。以浮游植物为例,当优势种较多,无优势性特别突出的种类,此时浮游植物群落结构是稳定的。表观上,该群落的多样性较高^[21]。对生态系统而言,则当食物网中不同成分的数量处于相对稳定和平衡时,表现为生态系统的相对稳定^[22]。在沿海的河口水域,由于来自陆源营养物质非常丰富,有可能导致浮游植物异常生长,进一步脱离了浮游动物对其的下行控制,导致生态系统崩溃,形成赤潮^[23]。赤潮发生之前,海洋生态系统不稳定,表现往往为浮游植物极高的数量和浮游动物很低的数量。并且进一步形成浮游植物对浮游动物数量的反压制。然而从本文所述瓯江口水域浮游动物对浮游植物之间的数量关系:浮游动物与浮游植物数量呈正相关;在空间上,浮游植物多的水域,有较多的浮游动物数量;浮游动物与浮游植物的空间一致性明显等。这些都显示出这一水域生态系统尚属稳定。Micheli^[24]分析了世界上 20 多种海洋生态系统,发现在河口生态系统中,浮游植物和浮游植物虽然通过食物网耦合在一起,一旦环境条件改变,将引起生物群落的改变。尽管瓯江口水域已经富营养化,具备赤潮发生的营养条件,由于地处亚热带水域,特有的浮游动物数量和群落结构,形成对浮游植物有效的下行控制。春季河口生态系统尚无向赤潮发生演变的迹象。与长江口浮游动物群落结构不同的^[25],瓯江口浮游动物有多个优势种而不是单一优势种,这是该水域生态系统较为稳定的一个重要原因。

References:

- [1] Banse K. Zooplankton: pivotal role in the control of ocean production I. Biomass and production. ICES Journal of Marine Science; Journal du Conseil, 1995, 52 (3-4): 265—277.
- [2] Cushing D H. Plankton production and year-class strength in fish populations: an update of the match/mismatch hypothesis. Advance Marine Biology, 1990, 26: 249—293.
- [3] Shi X Y, Wang X L, Han X R, *et al.* Nutrient distribution and its controlling mechanism in the adjacent area of Changjiang River estuary. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14 (7): 1086—1092.
- [4] Huang C J, Wang C, Dong Q X, Lin X P. Population dynamical of *Skeletonema costatum* in Zhelin Bay of Eastern Guangdong. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (1): 142—151.
- [5] Sun C C, Wang Y S, Sun S, Zhang F Q. Analysis dynamics of phytoplankton community characteristics in Daya Bay. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(12): 3948—3958.
- [6] Guo P Y, Shen H T, Liu A C, *et al.* The species composition, community structure and diversity of zooplankton in Changjiang estuary. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(5): 892—900.
- [7] Gismervik I, Andersen T, Vadstein O. Pelagic food webs and eutrophication of coastal waters: impact of grazers on algal communities. Marine Pollution Bulletin, 1996, 33: 22—35.
- [8] State Technology Supervision Bureau. The Specification for Marine Monitoring Part 4: Seawater Analysis (GB17378-1998). Beijing: Standards Press of China, 1999.
- [9] State Technology Supervision Bureau. The Specification for Marine Monitoring Part 6: Marine Biological Survey (GB/T 12763-1991). Beijing: Standards Press of China, 1992.
- [10] Yao Y M, Chen J Y, Chen Y P, *et al.* The relationship between current and topography in Wenzhou Bay. Journal of East China Normal University (Natural Science), 1998, 2: 61—68.
- [11] Li J F, Shi W R, Shen H T. Sediment properties and transportation in the turbidity maximum in Changjiang Estuary. Geographical Research, 1994, 13(1): 51—59.
- [12] Guo P Y, Shen H T. Research advance in estuarine phytoplankton ecology. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(1): 139—142.
- [13] Alpine A E, Cloern J E. Trophic interactions and direct physical effects control phytoplankton biomass and production in an estuary. Limnology and Oceanography, 1992, 37(5): 946—955.
- [14] Boyer J N, Christian R R, Stanley P W. Patterns of phytoplankton primary productivity in the Neuse River estuary, North Carolina, USA. Marine Ecology Progress Series, 1993, 97(3): 287—297.
- [15] Pennock J R, Sharp J H. Temporal alternation between light and nutrient limitation of phytoplankton production in a coastal plain estuary. Marine Ecology Progress Series, 1994, 111(3): 275—288.
- [16] He Q, Sun J, Luan Q S, *et al.* Phytoplankton assemblage in Yangtze River estuary and its adjacent waters in winter time. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(11): 2559—2566.
- [17] Bernhard A E, Peele E R. Nitrogen limitation of phytoplankton in a shallow embayment in northern Puget Sound. Estuaries, 1997, 20(4): 759—769.
- [18] Malone T C, Conley D J, Fisher T R, *et al.* Scales of nutrient-limited phytoplankton productivity in Chesapeake Bay. Estuaries, 1996, 19(2): 371—385.
- [19] Harrison P J, Hu M H, Yang Y P, *et al.* Phosphate limitation in estuarine and coastal water of China. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1990, 140(1-2): 79—87.
- [20] Dagg M J. Ingestion of phytoplankton by the micro- and meso-zooplankton communities in a productive subtropical estuary. Journal of Plankton Research, 1995, 17(4): 845—857.
- [21] Pinckney J L, Paerl H W, Harrington M B, *et al.* Annual cycles of phytoplankton community-structure and bloom dynamics in the Neuse River Estuary, North Carolina. Marine Biology, 1998, 131(2): 371—381.

- [22] Xu Z L. Relationship between red tide occurrence and zooplankton community structure in the coastal sea of East China Sea in spring. *China Environmental Science*, 2004, 24(3):257—260.
- [23] Percy L D, Thomas R O. Toward a theory of biological-physical control of harmful algal bloom dynamics and impacts. *Limnology and Oceanography*, 1997, 42(5):1283—1296.
- [24] Micheli F. Eutrophication, Fisheries, and Consumer-Resource Dynamics in Marine Pelagic Ecosystems. *Science*, 1999, 285(5432):1396—1398.
- [25] Xu Z L, Hong B, Zhu M Y, *et al.* Study on ecological characteristics of zooplankton in the areas of often occurrence of red tide in the East China Sea in spring. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(7):1081—1085.

参考文献:

- [3] 石晓勇,王修林,韩秀荣,等. 长江口邻近海域营养盐分布特征及其控制过程的初步研究. *应用生态学报*, 2003, 14(7):1086~1092.
- [4] 黄长江,王超,董巧香,林小苹. 粤东柘林湾中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)种群生态学. *生态学报*, 2007, 27(1):142~151.
- [5] 孙翠慈,王友绍,孙松,张凤琴. 大亚湾浮游植物群落特征. *生态学报*, 2006, 26(12):3948~3958.
- [6] 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. *生态学报*, 2003, 23(5):892~900.
- [8] 国家质量技术监督局. 海洋监测规范 第4部分:海水分析(GB17378-1998). 北京:中国标准出版社,1999.
- [9] 国家质量技术监督局. 海洋监测规范 第6部分:海洋生物调查(GB/T 12763-1991). 北京:中国标准出版社,1992.
- [10] 姚炎明,陈吉余,陈永平,等. 温州湾水流及其与地形的关系. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 1998, 2:61~68.
- [11] 李九发,时伟荣,沈焕庭. 长江河口最大浑浊带的泥沙特性和输移规律. *地理学研究*, 1994, 13(1):51~59.
- [12] 郭沛涌,沈焕庭. 河口浮游植物生态学研究进展. *应用生态学报*, 2003, 14(1):139~142.
- [16] 何青,孙军,栾青杉,等. 长江口及其邻近水域冬季浮游植物群集. *应用生态学报*, 2007, 18(11):2559~566.
- [22] 徐兆礼. 东海近海春季赤潮发生与浮游动物群落结构的关系. *中国环境科学*, 2004, 24(3):257~260.
- [25] 徐兆礼,洪波,朱明远,等. 东海赤潮高发区春季浮游动物生态特征的研究. *应用生态学报*, 2003, 14(7):1081~1085.