2012-04-25 DOI: 10.3724/SP.J.1145.2012.00170 http://www.cibj.com/
应用与环境生物学报 Chin J Appl Environ Biol 2012, 18(2): 170~176

椒江口海域浮游植物与富营养化的关系*

孙鲁峰[1, 2] 徐兆礼[1**] 邢小丽[3] 康 伟[1]
([1]中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室 上海 200090)
([2]上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306)
([3]上海海事大学海洋环境与工程学院 上海 201306)

摘 要 根据2010年椒江口海域3个季节的海洋调查资料, 运用定量、定性方法, 探讨该海域浮游植物、富营养化和赤潮之间的关系. 自该海域共鉴定浮游植物81种, 赤潮种35种, 由于受椒江径流、浙江沿岸流、台湾暖流和上升流共同影响, 浮游植物种类数、平面分布及优势种有明显的季节变化; 最主要的赤潮优势种是旋链角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*)、中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、具槽直链藻(*Melosira sulcata*)和琼氏圆筛藻(*Coscinodiscus jonesianus*); 调查期间海域富营养化指标*E*值大于1, 富营养化程度较为严重, 但浮游植物群落结构较为稳定, 多样性指数较高, 并未发生赤潮. 图4 表2 参27

关键词 浮游植物; 富营养化; 赤潮; 旋链角毛藻; 优势种

CLC X55 : Q948.885.3

Relationship Between Phytoplankton and Eutrophication in Jiaojiang Estuary*

SUN Lufeng[1, 2], XU Zhaoli[1**], XING Xiaoli[3] & KANG Wei[1]
([1]*Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture of China, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences*, Shanghai 200090, China)
([2]*College of Marine Science and Fishers, Shanghai Ocean University*, Shanghai 201306, China)
([3]*Colleg of Ocean Environment and Engineering, Shanghai Maritime University*, Shanghai 201306, China)

Abstract Phytoplankton, eutrophication and ride tide were investigated in three seasons of 2010 in the Jiaojiang Estuary, Zhejiang, China and the relationship between them was studied by qualitative and quantitative methods. There were a total of 81 species of phytoplankton, including 35 species of red tide algae in the estuary. There were apparent seasonal variations in numbers of species, horizontal distribution and dominant species due to comprehensive influences of Jiaojiang runoff, Zhejiang coastal upwelling and Taiwan warm current. The primary dominant red tide algae were *Chaetoceros curvisetus*, *Skeletonema costatum*, *Melosira sulcata* and *Coscinodiscus jonesianus*. During the investigation, serious eutrophication prevailed with eutrophication index (*E*) higher than 1, while community structure of phytoplankton was relatively stable with a high diversity index, and red tide did not occurred. Fig 4, Tab 2, Ref 27

Keywords phytoplankton; eutrophication; red tide; *Chaetoceros curvisetus*; dominant species

CLC X55 : Q948.885.3

椒江是浙江省中部的一条河流, 注入台州湾并汇入东海. 椒江口以东海域即是我国著名的鱼山渔场, 许多鱼虾蟹类的繁殖场和索饵场便位于椒江口海域. 椒江口海域又是我国沿海赤潮爆发频发区, 依据国家海洋局海洋公报, 2009年4月在台州外侧发生裸甲藻(*Gymnodinium* sp.)赤潮, 2009年5月在下大陈岛附近发生米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)赤潮, 2008年5月爆发具齿原甲藻(*Proro centrum triestinum*)赤潮, 2006年5月和6月在鱼山列岛分别爆发了具齿原甲藻和旋链角毛藻赤潮, 2005年4月浙江中南部海域发生中肋骨条藻和海链藻(*Thalassiosira* sp.)赤潮, 2004年在鱼山列岛和台州列岛海域发生赤潮等. 赤潮的爆发会对鱼山渔场照成一定程度的影响, 因此对该海域浮游植物的研究尤为重要.

国外对浮游植物、富营养化和赤潮关系的研究起步较早, 例如IOC对富营养化与赤潮关系的研究[1], Smayda提出某

收稿日期: 2011-06-09 接受日期: 2011-08-01
*国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(No. 2010CB428705)和国家自然科学基金项目(No. 40776077)资助 Supported by the State Key Basic Research & Development Program of China (No. 2010CB428705) and the National Natural Science Foundation of China (No. 40776077)
**通讯作者 Corresponding author (E-mail: xiaomin1957@126.com)

些有害藻类水华的增加是沿岸水域富营养化的结果[2-3]. 国内对这一问题也有了一定的研究：张海波等对象山港水域浮游植物和赤潮生物种群动态的研究[4]，韩秀荣等对东海近海海域营养盐分布特征及其与赤潮发生关系的研究[5]，刘吉堂等的海洲湾特征因子与赤潮形成初探[6]，刘国强等对广西涠洲湾海域浮游植物和赤潮生物种类组成的初步研究[7]，徐宁等对沿岸海域富营养化与赤潮发生关系的研究[8]等. 但有关我国椒江口海域浮游植物、富营养化和赤潮关系的研究还未见报道，本研究依据对该海域进行的3个航次调查，探讨了该海域富营养化与浮游植物和赤潮之间的关系.

1 研究地区与研究方法

1.1 取样方法

调查海域为东海28°20.852'~28°35.146'N、121°37.959'~122°1.556'E海域. 于2010年分别进行春（4月）、夏（7月）和秋（10月）3个季节的调查，调查站位设置见图1. 本调查每个季节布设19个采样点，共采集浮游植物样品57个，样品的采集和室内处理均按照《海洋调查规范》进行：用标准浮游生物浅水Ⅲ型网（网口面积0.1 m²，筛绢孔径为77 μm）由底至表层垂直拖曳采集，样品用5%的福尔马林溶液固定，实验室内浓缩后在光学显微镜下进行种类鉴定和计数.

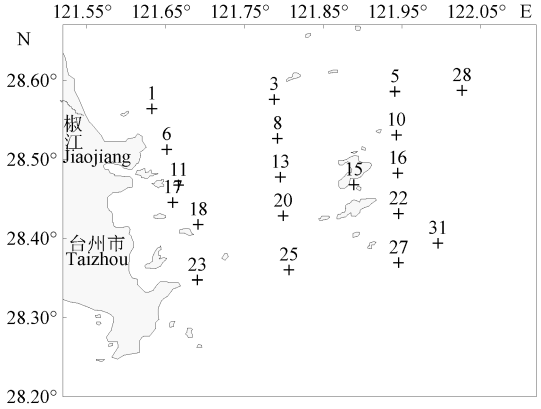

图1 调查站位分布

Fig. 1 Sampling stations

1.2 数据处理

本文中的出现率，是指该种出现的站位数占总站位数之比的百分数；季节更替率（R）[9]是指两季间不同的种类数与两季出现的总种类数之比的百分数.

优势度采用如下公式[9]计算：

优势度（Dominance）：$Y=\frac{n_i}{N}\cdot f_i$

上式中，n_i为第i种的丰度，f_i是该种在各站位中出现的频率，N为总丰度. 取优势度$Y\geq 0.02$的种类为优势种[10].

Shannon-Wiener物种多样性指数（H'）参考文献[9]计算.

海水富营养化的判定，采用如下公式[11]：

$$E=[\rho(\mathrm{COD})\times\rho(\mathrm{TIN})\times\rho(\mathrm{TIP})\times10^6]/4500$$

式中：ρ(COD)代表化学需氧量（单位：mg/L）；ρ(TIN)代表溶解态无机氮含量（单位：mg/L），为 NO_3-N、NO_2-N和NH_3-N含量之和；ρ(TIP)代表溶解态无机磷含量（单位：mg/L），采用 PO_4-P含量. $E\geq1$为富营养化.

2 结果与分析

2.1 浮游植物种类组成及平面分布的季节变化

3个航次调查共鉴定浮游植物81种，其中硅藻门67种，甲藻门12种，金藻门和蓝藻门各1种. 3个季节皆出现的浮游植物

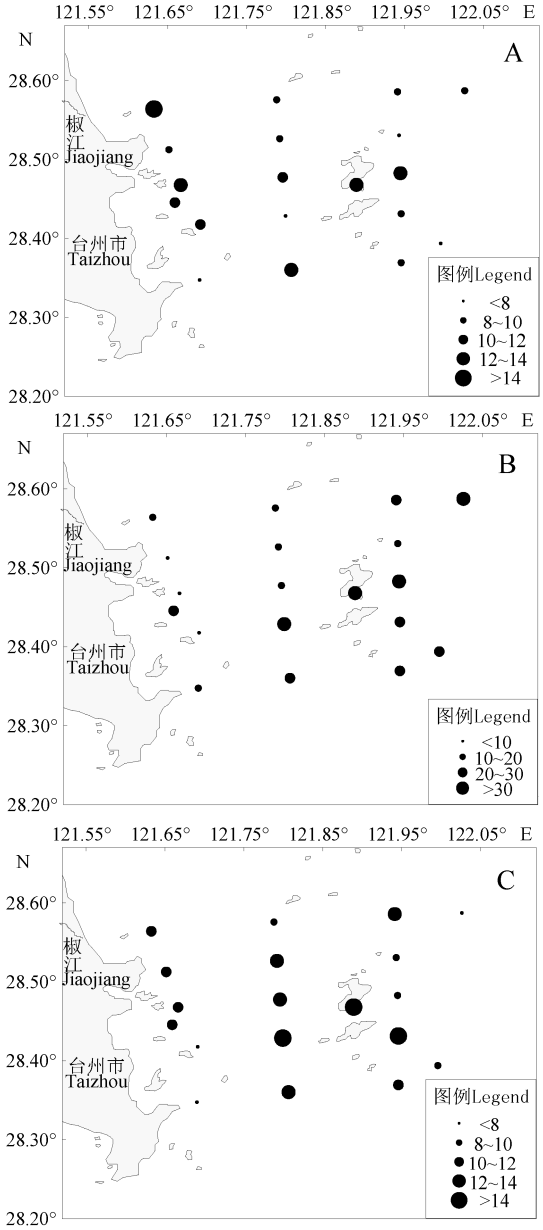

图2 2010年浮游植物种类数（A：4月；B：7月；C：10月）

Fig. 2 Species richness of phytoplankton in 2010 (A: April; B: July; C: October)

有24种，2季的23种，仅1个季节的34种. 春-夏季R值为57.14%，夏-秋季为49.30%，可见在春季转至夏季、夏季转至秋季，该海域浮游植物种类随着季节的转换而出现明显的更替现象.

椒江口海域秋季出现的种类数最少，仅45种，其次是春季，夏季最高. 其中，春季共鉴定浮游植物47种，包括硅藻门39种，甲藻门6种，金藻门和蓝藻门各1种. 种类数平面分布的高值区出现在大陈岛以西的海域；夏季共鉴定浮游植物62种，包括硅藻门51种，甲藻门10种，金藻门1种. 种类数的高值区出现在大陈岛以东的外部海域；秋季共鉴定浮游植物45种，其中硅藻门37种，甲藻门8种. 各站位种类数的平面分布较春季和夏季均匀，但高值区也位于大陈岛以西的海域（图2）.

2.2 浮游植物优势种及其生态特征值

优势度：从表1可见，3个航次调查共出现浮游植物优势种（$Y \geq 0.02$）16种. 夏季最高，为7种，春季和秋季各出现6种优势种. 3个季节没有出现共同的优势种，春季和秋季优势种较为一致，优势度前3位均是具槽直链藻、琼氏圆筛藻和中肋骨条藻. 夏季优势种主要是盒形硅藻亚目的角毛藻属. 优势种季节更替现象明显，夏季旋链角毛藻是3个季节所有优势种优势度的最高值.

平均丰度：从表1可见，各优势种丰度有明显的季节变化. 春、夏和秋3季优势度最高种类的丰度分别为：具槽直链藻（44.23×10³ ind./m³）、旋链角毛藻（26072.19×10³ ind./m³）和琼氏圆筛藻（40.38×10³ ind./m³）. 其中春季的具槽直链藻和秋季的琼氏圆筛藻丰度基本一致，夏季旋链角毛藻的丰度较春季的具槽直链藻和秋季的琼氏圆筛藻高出近500倍.

丰度百分比：椒江口海域所涉及的优势种种类数并不多，但所占总丰度的比例较高. 优势种丰度在春、夏和秋季各自所占总丰度的比例分别为76.07%、85.12%和88.16%（表1）. 由此可见，优势种种群数量变动对浮游植物总丰度的变化有重要的影响，尤其在夏季和秋季，优势种丰度占总丰度的比例明显高于春季，其对总丰度的贡献也大大超过春季.

出现频率：由表1所示，鱼山渔场近海海域浮游植物优势的出现频率都比较高，除了春季的具槽直链藻和夏季的冕孢角毛藻，其他优势种的出现频率基本上都大于50%，其中，春季和秋季出现频率最高的均是琼氏圆筛藻，夏季为发状角毛藻.

2.3 浮游植物赤潮种

3个季节调查期间共监测到浮游植物赤潮种35种[12]，包括蓝藻1种，金藻1种，硅藻门24种，甲藻门9种. 其中，有毒赤潮生物1种，是具尾鳍藻. 主要赤潮种类数量和分布如下：

具槽直链藻：3个季节均有出现，春季、夏季和秋季细胞丰度均值分别为30.07（10³ ind./m³）、9.57（10³ ind./m³）和32.98（10³ ind./m³）. 春季丰度最高，春季和秋季的丰度明显高于夏季.

琼氏圆筛藻：3个季节均有出现，春季、夏季和秋季细胞丰度均值分别为5.63（10³ ind./m³）、61.63（10³ ind./m³）和40.38（10³ ind./m³）. 在秋季航次调查期间是细胞丰度最高的种类.

中肋骨条藻：3个季节均有出现，春季、夏季和秋季细胞丰度均值分别为6.74（10³ ind./m³）、238.84（10³ ind./m³）和

表1 优势种的优势度（Y）、丰度（n/10³ ind. m^{-3}；P/%）和出现率（r/%）

Table 1 Dominance (Y), abundance (n/10³ ind. m^{-3}; P/%) and occurrence frequency (r/%) of dominant species

时间 Time	优势种名 Dominant species	拉丁文 Latin name	类别 Classes			
			Y	n	P	r
2010.04 (春季 Spring)	具槽直链藻	*Melosira sulcata*	0.09	30.07	44.23	21.05
	琼氏圆筛藻	*Coscinodiscus jonesianus*	0.07	5.63	8.28	89.47
	中肋骨条藻	*Skeletonema costatum*	0.06	6.74	9.91	57.89
	辐射圆筛藻	*Coscinodiscus radiatus*	0.04	3.14	4.61	84.21
	夜光藻	*Noctiluca scintillans*	0.04	3.58	5.27	84.21
	虹彩圆筛藻	*Coscinodiscus oculus-iridis*	0.03	2.56	3.77	73.68
2010.07 (夏季 Summer)	旋链角毛藻	*Chaetoceros curvisetus*	0.53	26072.19	59.52	89.47
	发状角毛藻	*Chaetoceros crinitus*	0.06	2873	6.56	94.74
	并基角毛藻	*Chaetoceros decipiens*	0.04	2102	4.8	89.47
	长角弯角藻	*Eucampia cornuta*	0.04	2604.79	5.95	68.42
	奇异菱形藻	*Nitzschia paradoxa*	0.04	1835	4.19	94.74
	冕孢角毛藻	*Chaetoceros subsecundus*	0.03	2683	6.13	47.37
	地中海指管藻	*Dacthliosolen mediterraneus*	0.02	1718	3.92	57.89
2010.10 (秋季 Autumn)	琼氏圆筛藻	*Coscinodiscus jonesianus*	0.26	40.38	27.44	94.74
	具槽直链藻	*Melosira sulcata*	0.19	32.98	22.41	84.21
	中肋骨条藻	*Skeletonema costatum*	0.14	26.87	18.26	78.95
	梭角藻	*Ceratium fusus*	0.08	13.08	8.89	89.47
	伏氏海毛藻	*Thalassiothrix frauenfeldii*	0.03	9.75	6.63	52.63
	三角角藻	*Ceratium tripos*	0.02	6.67	4.53	52.63

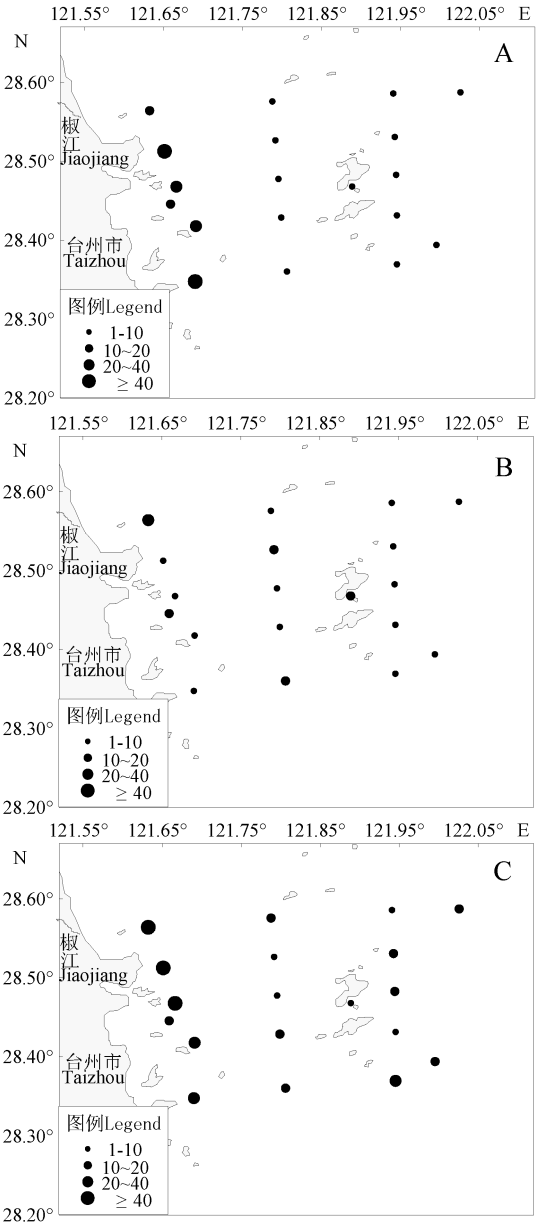

图3 2010年海水富营养化指标*E*值平面分布（A：4月；B：7月；C：10月）

Fig. 3 Eutrophication index (*E*) in 2010 (A: April; B: July; C: October)

26.87（10^3 ind./m^3）. 夏季该藻丰度明显高于春季和秋季.

旋链角毛藻：3个季节均有出现，春季、夏季和秋季细胞丰度均值分别为0.26（10^3 ind./m^3）、26072.19（10^3 ind./m^3）和0.26（10^3 ind./m^3）. 夏季的细胞丰度远远高于春季和秋季，是夏季调查期间细胞丰度最高的种类，比排在第二的发状角毛藻的丰度高出近10倍.

2.4 椒江口海域富营养化评价

椒江口海域春、夏和秋季的富营养化指标*E*值平均值均大于1，秋季最高（19.27，5.03~54.10），春季次之（15.83，3.44~85.71），夏季最低（7.91，2.36~20.43）. 由图3可见，3个季节*E*值的高值区均位于沿岸海域，春季*E*大于20的站位有沿岸的6、11、18和23号站，23号站位的*E*值最大，最小为大陈岛以东的10号站；夏季仅1号站的*E*值大于20，最小为大陈岛以东的28号站. 秋季*E*值大于20的站位有1、6、11、18、23和27号站，最大为11号站，最小为大陈岛之间的15号站. 结果表明，椒江口海域的富营养化程度已经非常严重，全部海域都呈现富营养状态.

表2 浮游植物多样性指数（*H'*）

Table 2 The diversity index of phytoplankton (*H'*)

时间 Time	2010.04	2010.07	2010.10
幅度 Range	0.96~3.47	1.18~3.06	0.64~2.97
平均值 Mean	2.5	2.4	2.2

2.5 浮游植物多样性分析

由表2可见，椒江口海域3个季节的浮游植物多样性指数（*H'*）均大于2，春季*H'*值最高，为2.5，夏季次之，秋季最低. 其中，春季*H'*在沿岸海域最高. 夏季*H'*在大陈岛和沿岸陆地之间的海域达到最大值，最小值则出现在大陈岛的外部海域. 秋季*H'*分布各个站位较为均匀（图4）.

3 讨 论

3.1 椒江口浮游植物种类数分布特征

由季节更替率*R*值可见，椒江口海域浮游植物3个季节的种类组成变化比较明显：春季转夏季，硅藻门盒形硅藻亚目种类大量出现，例如角毛藻属和盒型藻属（*Biddulphia* sp.）. 浮游植物种类比春季增加15种，是一个物种逐步添加的过程，而夏季转秋季也主要是夏季出现的盒形硅藻亚目种类并未在秋季出现，浮游植物种类减少，是一个物种逐步退出的过程，而不是一个物种替代变化的过程，浮游植物种类随季节变化出现明显的更替现象. 引起这种现象的主要原因是该海域夏季出现较多的旋链角毛藻、发状角毛藻（*chaetoceros crinitus*）、并基角毛藻（*chaetoceros decipiens*）、冕孢角毛藻、弯角藻属（*Eucampia* sp.）和盒形藻属大多是偏暖性近岸种，春季和秋季主要分布在南海海域，椒江口海域的分布少，而夏季由于光照和水温的升高以及台湾暖流对该海域的影响加强，上述暖水种在调查海域大量出现，导致该海域夏季暖水性增多.

椒江口海域3个季节种类数的平面分布也有明显的季节变化，浮游植物种类数的高值区春季靠近沿岸（图2-A）、夏季在调查区的东部（图2-B）、秋季向西移动接近调查区的中部（图2-C）. 种类数分布季节变化格局与海流的季节性变化有一定的关系.

春季，调查海域主要受到由长江径流和椒江径流形成浙江沿岸流的影响[13]，台湾暖流和浙江上升流较弱. 因此如图

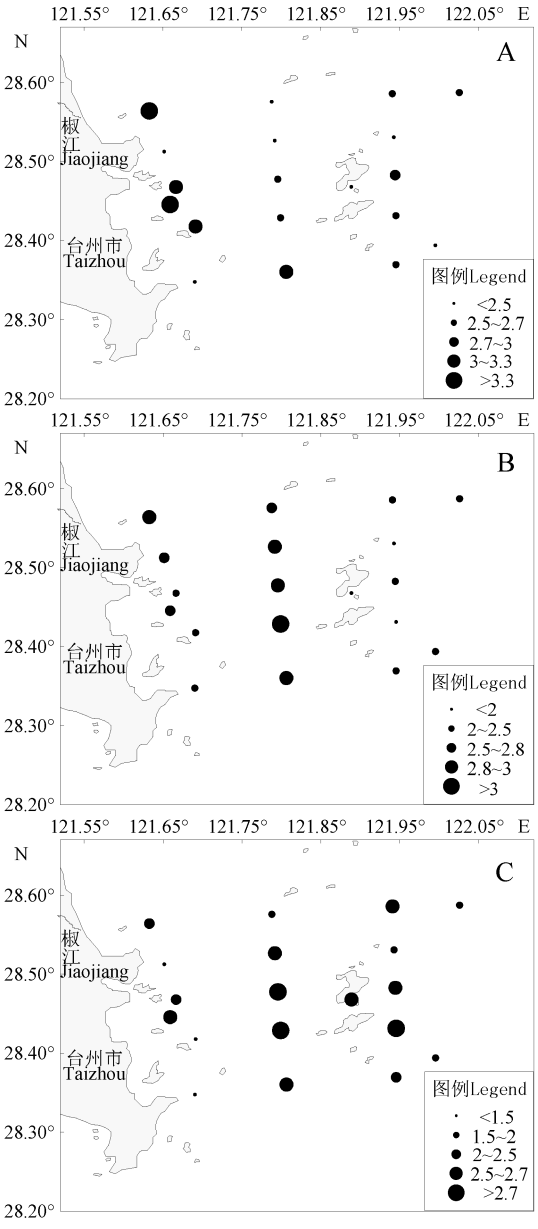

图4 2010年浮游植物多样性（A：4月；B：7月；C：10月）

Fig. 4 The diversity index of phytoplankton in 2010 (A: April; B: July; C: October)

2-A所示，春季在近岸海域形成了浮游植物种类分布的高值区.

夏季，台湾暖流和浙江上升流逐渐成为影响外侧海域的主要水文因素[14]. 大陈岛及其以东海域存在着明显的上升流，导致海洋底部大量的营养物质被输送到表层. 由于夏季椒江径流较强，同时外侧水域受到台湾暖流的影响，椒江径流与台湾暖流交汇于调查区的东部水域. 不同的水系带来不同生态适应的种类，这是图2-B所示夏季浮游植物种类分布的高值区位于调查海域东部的原因.

秋季10月，椒江径流明显减少，因此，椒江径流与外海暖水主要在调查区的中部交汇，这是图2-C所示秋季浮游植物种类分布的高值区主要位于中部水域的原因.

总之，首椒江口海域位于浙江中部近海，西有椒江径流入海，外侧海域还受台湾暖流水系支配，并且有浙江上升流出现[15]. 不同季节，影响海域主要海流变化，特别是椒江径流势力和外海暖流势力强弱的变化，有可能影响了椒江径流与外海水交汇的位置，这是影响这一水域浮游植物种类数分布变化的主要原因.

3.2 椒江口海域浮游植物群落结构特征

由优势种表1可见，3个季节的浮游植物优势种有明显的交替现象.

春季调查期间正是枯水期结束进入丰水期的时候，椒江径流较夏季和秋季弱，影响范围仅限于沿岸海域，沿岸海水盐度受径流影响而降低[16]，半咸淡水种的具槽直链藻[17]、广温低盐的中肋骨条和海产沿岸的琼氏圆筛藻在该海域繁殖较快，因此这3种藻在春季成为明显的优势种，对该海域浮游植物丰度的影响权重最大；

夏季由于水温和光照的强度较春季都有升高，水温由低于20 ℃上升到20~25 ℃范围，偏暖性近岸种的盒型硅藻亚目在该海域繁殖较快，特别是旋链角毛藻迅速生长[18]，因此夏季旋链角毛藻的丰度远远大于其它优势种；

秋季浮游植物种类数的高值区趋于近岸，广温低盐的琼氏圆筛藻、中肋骨条藻和具槽直链藻成为秋季对浮游植物丰度影响最大的种类，且各优势种间丰度和出现率基本一致.

由表2和图4可见，3个航次的多样性指数也有变化. 春季和秋季多样性指数的高值区基本上与种类数的平面分布一致，即种类数分布较多的站位其多样性指数也高. 夏季由于旋链角毛藻这一优势种在大陈岛以东海域的大量爆发，尽管该海域的种类数分布较高，但浮游植物的其他种类在该海域细胞丰度所占比例较小，反而在大陈岛以东的海域形成了多样性指数平面分布的低值区.

3个航次期间整个调查海域的多样性指数均值均大于2.2，而在赤潮爆发过程中，由于单一赤潮种类大量繁殖，浮游植物多样性指数往往会减小到非常低的程度，直到赤潮发生后才恢复到赤潮前的水平[19]，由此可见，该海域的浮游植物群落结构处于一个较为平衡状态.

3.3 椒江口海域富营养化状况

由图3可见，椒江口海域春季和秋季的富营养化水平明显高于夏季，3个调查航次富营养化水平的高值区均位于沿岸海域，可见椒江径流对该海域的富营养化水平有显著影响.

尽管3个航次表明调查海域的沿岸富营养化程度最为严重，但以往文献表明，该海域的赤潮发生区不在沿岸，往

往集中在大陈岛海域及其以东海域[19~20]. 这是因为尽管椒江径流及沿岸流携带丰富的营养盐, 但同时会带来大量的悬沙[21~22], 这样的现象同样也发生在长江口海域. 调查海域的东部由于受沿岸流和椒江径流的作用减小, 既有椒江径流和浙江近海上升流带来丰富的营养物质, 同时悬沙含量较沿岸低, 透明度较高, 因此该海域常常发生大规模的赤潮, 具体位置仅在大陈岛以东的海域, 沿岸赤潮发生的可能性较低, 国外的Pennington J T和Chavez F P也提出由于低温、高盐、透明度高的上升流所形成的营养盐高值区往往会发生赤潮[23].

3.4 富营养化与赤潮关系

3个航次调查期间, 海域营养状态综合指数*E*远远大于1, 呈现严重富营养化状态, 赤潮种浮游植物也出现了35种, 但该海域并未发生赤潮, 这表明赤潮的发生除了营养盐和浮游植物种类外, 还与其他条件有关:

光照: 赤潮爆发的是某一种浮游植物的大量繁殖的结果, 而不同浮游植物在不同的光照条件下繁殖速度不同, 例如具槽直链藻在3 000 lx光照强度下最适生长[24], 琼氏圆筛藻的最适光照强度为8 000 lx [25]. 光照强度除了与太阳光线有关外, 海水的透明度也直接影响着海域的光照强度, 因此携带大量悬沙的椒江径流与海水的交汇区域也影响着赤潮爆发的区域范围.

群落结构: 由讨论3.2中可见, 调查海域浮游植物群落结构稳定, 各赤潮优势种之间的平衡竞争并未打破, 调查期间并未发生赤潮.

摄食压力: 依据国家海洋公报和相关文献, 该海域并不是每个季节都有赤潮发生, 大规模赤潮几乎都发生在春季[26]. 徐兆礼对浮游动物与赤潮关系的研究表明, 东海春季浮游动物种类数较夏季和秋季低, 并且植食性的中华哲水蚤优势度高达0.68 [24, 27], 这一不稳定的浮游动物群落结构一旦被打破, 浮游动物与浮游植物之间的平衡消失, 浮游动物对浮游植物摄食压力减弱, 这可能是东海春季赤潮频发的重要原因之一.

References

1 IOC. IOC workshop on international cooperation in the study of red tides and ocean blooms. 1987 (57): 1~10

2 Smayda TJ. Primary production and the global epidemic of phytoplankton blooms in the sea: A linkage? In: Cosper EM, Bricelj VM, Carpenter EJ eds. Novel Phytoplankton Blooms, Coastal and Estuarine Studies Number 35. New York, USA: Springer-Verlag, 1989. 449~484

3 Smayda TJ . Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea: Evidence for a global epidemic. In: Graneli E, Sundstrom B, Edler L, *et al*. eds. Toxic Marine Phytoplankton. New York, USA: Elsevier, 1990. 29~40

4 **Zhang HB** (张海波), Cai YH (蔡燕红), Xiang YT (项有堂). Study on the phytoplankton and HAB in Xiangshan Bay. *Mar Sci Bull* (海洋通报), 2005, **24** (1): 92~96

5 **Han XR** (韩秀荣) ,Wang XL (王修林) ,Sun X (孙霞). Nutrient distribution and its relationship with occurrence of red tide in coastal area of East China Sea. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2003, **14** (7): 1097~1101

6 **Liu JT** (刘吉堂), Xu GX (徐国想). 海洲湾特征因子与赤潮形成初探. *Reservoir Fish* (水利渔业), 2008, **28** (2): 77~79

7 刘国强, 史海燕, 魏春雷, 李武全. Preliminary studies on phytoplankton and red tide organism composition in the coastal water of the Weizhou Island, Guangxi. *Mar Sci Bull* (海洋通报), **2008, 27** (3): 43~48

8 **Xu N** (徐宁), Duan SS (段舜山), Li AF (李爱芬).The relationships between the occurrences of red tides (HABs) and eutrophication in coastal waters. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2005, **25** (7): 782~1787

9 **Zhao ZM** (赵志模), Zhou YX (周新远). 生态学引论. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1984. 108~119

10 **Xu ZL** (徐兆礼), Chen YQ (陈亚瞿). Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 1989, **8** (4): 13~15

11 国家海洋局科技司, 辽宁省海洋局《海洋大辞典》编辑委员会. 海洋大辞典. 沈阳: 辽宁人民出版社, 1998. 179

12 **Guo H** (郭皓), **Wang JG** (王健国), **Zhao W** (赵文). 中国近海赤潮生物图谱. 国家海洋局, 2002. 21~30

13 **Li ZH** (李振华), Jin HW (金海卫), Pan GL (潘国良). Characters of phytoplankton community structure in coastal waters of middle-northern Zhejiang province in spring and summer, 2009. *Mar Fish* (海洋渔业), 2010, **32** (4): 401~410

14 **Cao XZ** (曹欣忠). Prelimary study on the seasonal process of the coastal upwelling off Zhejiang in the East Sea, China. *J Fish China* (水产学报), 1986, **10** (1): 51~69

15 **Lu DD** (陆斗定), Zhang ZD (张志道).Studies on phytoplankton and red tide causative species in Zhejiang Coastal WaterⅢ. Taizhou Archipalego Water. *Mar Environ Sci* (海洋环境科学), 1995, **14** (1): 32~37

16 **Zhu H** (朱虹), Huang XQ (黄秀清), Qin YT (秦玉涛). Distribution of red tide plankton community in Zhejiang coastal water in summer, 2006. *Mar Environ Sci* (海洋环境科学), 2009, **28** (6): 702~705

17 **Jin DX** (金德祥), Chen JH (陈金环), Huang KG (黄凯歌). 中国海洋浮游硅藻类. 上海: 上海科学技术出版社, 1965. 24

18 **Mao H** (茅华), Xu H (许海), Liu ZP (刘兆普). Effects of water temperature, illumination, salinity and pH on the growth of *Chaetoceros*

curvisetus. *Ecol Sci* (生态科学), 2007, **26** (5): 432~436

19 **Xu ZL** (徐兆礼), Gu XG (顾新根), Wang YL (王云龙). Ecological eigenvalue analyses of plankton of red tides occurred in Xiangshan Sound, Zhejiang. *Mar Sci Bull* (海洋通报), 1992, **11** (5): 46~53

20 **Long H** (龙华), Zhou Y (周艳), Yu J (余骏), Hu YF (胡益峰), Fu GJ (傅国君). **2001~2007**年浙江海域赤潮分析. *Mar Environ Sci* (海洋环境科学), 2008, **27** (增刊1): 1~4

21 **Gao S** (高抒), Cheng P (程鹏), Wang YP (汪亚平). Characteristics of suspended sediment concentrations over the areas adjacent to Changjiang River Estuary, the summer of 1998. *Mar Sci Bull* (海洋通报), 1999, **18** (6): 44~50

22 **Kong YZ** (孔亚珍), Ding PX (丁平兴), He SL (贺松林). Analysis of spatial and temporal variation characteristics of suspended sediment concentration in the Changjiang River Eatuary and adjacent sea area. *Adv Mar Sci* (海洋科学进展), 2006, **24** (4): 446~454

23 Pennington JT, Chavez FP. Seasonal fluctuations of temperature, salinity, nitrate, chlorophyll and primary production at station H3 /M1 over 1989-1996 in Monterey Bay, California. *Deep Sea Res Part II*, 2000, **47**: 947~973

24 Zhu M (朱明), Yan BL (阎斌伦). 具槽直链藻生长条件和生活史的研究. 中国海洋湖沼学会藻类学分会第七届会员大会暨第十四次学术讨论会论文摘要集, 2007

25 Huang SY (黄世玉), Lin JM (林军民). Effect of light and temperature on the cell division in *Coscinodiscus jonesianus*. *J Jimei Univ Nat Sci* (集美大学学报), 1998, **3** (3): 126~131

26 Xu ZL (徐兆礼), Hong B (洪波), Zhu MY (朱明远). Ecological characteristics of zooplankton in frequent HAB areas of the East China Sea in Spring. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2003, **14** (7): 1081~1085

27 Xu ZL (徐兆礼). Relationship between red tide occurrence and zooplankton communities structure in the coastal sea of East China Sea in spring. *China Environ Sci* (中国环境科学), 2004, **24** (3): 257~26