

长江口及其邻近水域网采浮游植物群落

何 青^{1, 2}, 孙 军^{1, *}

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境重点实验室, 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 根据 2006 年 2 月 ~ 11 月在长江口及其邻近水域的采样调查, 对调查水域网采浮游植物群落结构特征进行了研究。共鉴定出浮游植物 5 门 72 属 177 种 (包括未定名种), 浮游植物以硅藻为主, 但甲藻在群落中的比重也很明显, 此外还有少量的绿藻、蓝藻和金藻。浮游植物优势物种以可形成链状群体的物种为主, 中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*) 在长江口水域全年都具有较高的优势度, 另外还有季节性的优势种, 春季的夜光藻 (*Noctiluca scientillans*) 和具齿原甲藻 (*Prorocentrum dentatum*), 夏季的细长翼鼻状藻 (*Proboscia alata* f. *gracillima*), 秋、冬季的琼氏圆筛藻 (*Coscinodiscus jonesianus*) 和星脐圆筛藻 (*Coscinodiscus asteromphalus*)。浮游植物物种多为温带近岸种, 少数为暖水种或大洋高盐种。长江口水域网采浮游植物的细胞平均丰度在夏季最高, 为 2027.41×10^4 cells m^{-3} , 其次为春季, 秋季最低, 为 22.15×10^4 cells m^{-3} 。冬季的细胞丰度在各站之间变化幅度是最小的。浮游植物物种组成、细胞丰度及多样性指数在区域上和时间里都表现出明显的差异。调查所获 4 季度月网采浮游植物的丰度资料与历史资料基本吻合, 季节变化也基本一致, 但也有个别季度差别较大, 长江径流量的年际变动可能是造成这种差别主要原因之一。

关键词: 长江口; 浮游植物; 物种组成; 细胞丰度; 季节变化

文章编号: 1000-0933 (2009) 07-3928-11 中图分类号: Q948.1 文献标识码: A

The Netz-phytoplankton community in Changjiang (Yangtze) River Estuary and adjacent waters

HE Qing^{1, 2}, SUN Jun^{1, *}

1 Key laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China

2 Graduate university of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3928 ~ 3938.

Abstract: A multidisciplinary study on netz-phytoplankton community was carried out in Changjiang (Yangtze) River Estuary and adjacent waters February to November, 2006. In total, 5 phyla, including 72 genera and 177 species were identified (including uncertain species), of which chain-shaped ones were dominant, in which diatoms dominated, and dinoflagellates went the second place. Species of Chlorophyta, Cyanophyta and Chrysophyta, were also found. *Skeletonema costatum* prevailed cross-season in the whole investigation period, while some others, seasonally, such as *Noctiluca scientillans* and *Prorocentrum dentatum* in spring, *Proboscia alata* f. *gracillima* in summer, *Coscinodiscus jonesianus* in autumn, and *Coscinodiscus asteromphalus* in winter. In the study areas, temperate coastal species were the major ecotype, while warm water species and oceanic species were occasional. Cell abundance decreased in turn from summer, spring, winter, to autumn, in average values of summer and autumn at 2027.41×10^4 and 22.15×10^4 cells m^{-3} , respectively. The species composition, abundance and diversity varied clearly in spatial and temporal dimensions. The variation patterns of cell abundance are largely consistent with those shown by historical data, except for certain cases. Change in annual runoff of the river is believed responsible for the variations.

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目 (KZCX2-YW-213; KZCX3-SW-232); 国家自然科学基金资助项目 (40676089)

收稿日期: 2009-01-04; 修订日期: 2009-03-25

致谢: 营养盐数据由俞志明研究员提供, 现场采集工作由宋书群, 栾青杉, 丁昌玲完成, 谨致谢忱。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: phytoplankton@163.com

Key Words: Changjiang (Yangtze) River Estuary; phytoplankton; species composition; cell abundance; seasonal variation

长江口及其邻近水域有中国重要的渔场和水产养殖区,该水域受长江冲淡水、沿岸流、台湾暖流和黑潮等的影响,生态环境复杂多变。浮游植物是海洋生态系统中最重要初级生产者,它启动了海洋中的食物网,在海洋生态系统的能量流动和物质循环中起到至关重要的作用,并具有一定的环境指示意义。对于长江口浮游植物群落的研究从 20 世纪 50 年代开始,已经有大量的工作^[1-12]。这些资料表明,由于富营养化程度的日益加剧,长江口水域的浮游植物群落已发生了很大的变化,其中以有害水华物种的增加尤为明显,且近年来水华暴发的频率增加、规模扩大,危害程度加重,长江口水域已经成为有害水华高发区^[13-15]。本文通过对长江口及其邻近水域 2006 年网采浮游植物群落的群落结构、群落多样性和群落动态等进行研究,为长江口水域富营养化问题的研究提供基础资料。

1 航次调查及研究方法

于 2006 年 2 月(冬季航次)、5 月(春季航次)、8 月(夏季航次)和 11 月(秋季航次)在长江口及其邻近水域(30.5°~32.5° N, 121.0°~123.5° E)进行了物理、水文、化学和生物的综合外业调查,共 37 个调查站位(图 1)。按照《海洋调查规范》^[16],采样工具为小型浮游生物网(网口直径为 37cm,网口面积为 0.1m²,网身长 270cm,网目为 76μm),采样方式为在每个调查站位自底至表垂直拖网 1 次,立即加入中性福尔马林溶液固定,最终浓度为 2%,4 个航次共采取浮游植物网样 134 个。实验室内浮游植物样品经浓缩,取 0.25ml 亚样品在 Palmer-Maloney 型计数框中于 NikonYS100 显微镜下进行浮游植物物种鉴定和细胞计数。温度、盐度等环境参数用 YSI 水质监测仪进行现场测定,便携式 pH 计测定 pH 值,碘量滴定法测定溶解氧,酸性高锰酸钾法测定化学耗氧量,荧光法测定叶绿素,直接称重法测定悬浮体。营养盐(NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、SiO₃-Si、PO₄-P、TN、TP)样品的取样和分析参考《海洋调查规范》^[16]进行测定。物种多样性指数的计算采用香农-威纳指数(Shannon-Wiener index)^[17],物种均匀度指数采用 Pielou 的计算公式^[18]。优势度(Y)计算公式为:

$$Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

式中, N 为采集样品中所有物种的总个体数, n_i 为第 i 种的总个体数; f_i 为该种在各样品中出现的频率。

2 结果与讨论

2.1 物种组成

初步研究共鉴定出浮游植物 5 门 72 属 177 种(包括未定名种),其中硅藻门 48 属 115 种,甲藻门 16 属 52 种,绿藻门 1 属 2 种,金藻门 3 属 3 种,蓝藻门 4 属 4 种及未定类的三裂醉藻(*Ebria tripartita*),浮游植物生态类型多为温带近岸型,少数为暖水型或大洋高盐型。

2006 年冬季航次共鉴定出浮游植物 5 门 43 属 84 种(包括未定名种),其中硅藻 33 属 67 种,甲藻 4 属 10 种,金藻 1 属 1 种,蓝藻 3 属 3 种,绿藻 2 属 3 种。在各个调查站,硅藻占物种数量的 71.4%~100.0%,平均为 89.6%,占细胞丰度的 73.0%~100%,平均为 96.8%;甲藻占物种数量的 4.5%~28.6%,平均为 8.8%,占细胞丰度的 0.2%~7.0%,平均为 1.0%,在个别站位未检出有甲藻,硅藻在物种数量和细胞丰度上都占优

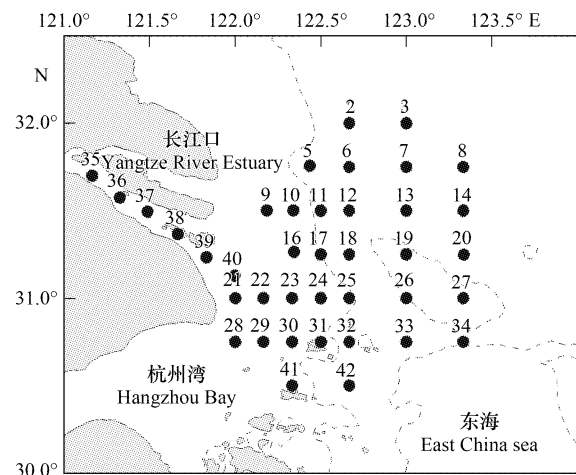


图 1 2006 年长江口调查站位

Fig. 1 Sampling stations in the Yangtze River Estuary in 2006

势。主要优势种有星脐圆筛藻 (*Coscinodiscus asteromphalus*)、琼氏圆筛藻 (*Coscinodiscus jonesianus*)、具槽帕拉藻 (*Paralia sulcata*)、中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*) 等 (表 1)。调查区浮游植物的生态类型多为温带近岸型和海洋广布型,少数为大洋高盐型。另外在河道段还出现单突盘星藻 (*Pediastrum simplex*)、双突盘星藻 (*Pediastrum duplex*) 等淡水物种;在调查区西南部的还出现少量的铁氏束毛藻 (*Trichodesmium thiebautii*)。

2006 年春季航次共鉴定出浮游植物 3 门 38 属 77 种 (包括未定名种),其中硅藻 25 属 43 种,甲藻 12 属 31 种,绿藻 1 属 2 种以及未定类的三裂醉藻。硅藻占物种数量的 31.2% ~ 100.0%,平均为 62.3%,占细胞丰度的 3.2% ~ 100.0%,平均为 70.6%;甲藻占物种数量的 12.5% ~ 68.8%,平均为 36.3%,占细胞丰度的 0.4% ~ 96.8%,平均为 28.2%,仅在两个站位未检出甲藻。硅藻在物种数量和细胞丰度上占优势,但在个别站位甲藻占有优势地位。主要优势种有尖刺伪菱形藻 (*Pseudo-nitzschia pungens*)、中肋骨条藻、夜光藻 (*Noctiluca scientillans*)、具齿原甲藻 (*Prorocentrum dentatum*)、米氏凯伦藻 (*Karenia mikimotoi*)、三角角藻 (*Ceratium tripos*) 等 (表 1)。与其他季节相比,春季甲藻的物种丰富度和细胞丰度比重都有所上升。

2006 年夏季航次共鉴定出浮游植物 5 门 54 属 130 种 (包括未定名种),其中硅藻 37 属 85 种,甲藻 13 属 40 种,金藻 1 属 1 种,蓝藻 2 属 2 种,绿藻 1 属 2 种。硅藻占物种数量的 48.3% ~ 88.9%,平均为 66.1%,占细胞丰度的 55.3% ~ 100.0%,平均为 94.7%;甲藻占物种数量的 6.2% ~ 48.3%,平均为 30.3%,占细胞丰度的 0.1% ~ 44.7%,平均为 5.0%,在个别站位未检出甲藻。主要优势种有中肋骨条藻、细长翼鼻状藻 (*Proboscia alata* f. *gracillima*)、菱形海线藻 (*Thalassionema nitzschioides*)、皇冠角毛藻 (*Chaetoceros diadema*)、尖刺伪菱形藻、窄隙角毛藻 (*Chaetoceros affinis*) 等,各优势种的优势度和细胞丰度见表 1。在调查西南部有马西里亚角藻 (*Ceratium massiliense*)、梭梨甲藻 (*Pyrocystis fusiformis*)、波状角藻 (*Ceratium trichoceros*) 等暖水性物种的出现,表明夏季该水域受到台湾暖流的影响。另外铁氏束毛藻在调查区靠外海的区域大量出现,平均丰度达 1.08×10^4 trichome m^{-3} ,由于其细胞个体较小,未将其计入总的细胞丰度内。

表 1 2006 年长江口水域网采浮游植物优势种

Table 1 Netz-phytoplankton dominant species in the Yangtze River Estuary in 2006

季节 Season	种名 Species	丰度比 (%) Cell abundance proportion	频率 Frequency	优势度 Dominance
冬季 Winter	星脐圆筛藻 <i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	17.8	0.97	0.1726
	琼氏圆筛藻 <i>Coscinodiscus jonesianus</i>	16.3	1.00	0.1636
	具槽帕拉藻 * <i>Paralia sulcata</i>	17.0	0.82	0.1389
	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	19.3	0.55	0.1053
春季 Spring	尖刺伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	79.2	0.38	0.2971
	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	14.0	0.63	0.0872
	夜光藻 <i>Noctiluca scientillans</i>	1.3	0.91	0.0123
	具齿原甲藻 <i>Prorocentrum dentatum</i>	1.1	0.66	0.0073
夏季 Summer	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	67.2	0.71	0.4748
	细长翼鼻状藻 * <i>Proboscia alata</i> f. <i>gracillima</i>	14.9	0.76	0.1139
	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	5.6	0.94	0.0530
	皇冠角毛藻 * <i>Chaetoceros diadema</i>	4.6	0.50	0.0231
秋季 Autumn	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	14.4	0.74	0.1072
	琼氏圆筛藻 <i>Coscinodiscus jonesianus</i>	10.6	1.00	0.1058
	窄隙角毛藻 <i>Chaetoceros affinis</i>	11.3	0.63	0.0710
	星脐圆筛藻 <i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	4.3	1.00	0.0432

* 种名更改参考孙军等^[19] Latin name changes referred to Sun *et al*^[19]

2006 年秋季航次共鉴定出浮游植物 5 门 52 属 109 种 (包括未定名种),其中硅藻 37 属 76 种,甲藻 11 属 29 种,金藻 2 属 2 种,蓝藻 1 属 1 种,绿藻 1 属 1 种。硅藻占物种数量的 56.0% ~ 100.0%,平均为 79.2%,占

细胞丰度的 75.0% ~ 100.0%, 平均为 94.9%; 甲藻占物种数量的 5.0% ~ 40.0%, 平均为 16.2%, 占细胞丰度的 0.1% ~ 25.0%, 平均为 4.4%, 在个别站位未检出甲藻。主要优势种有中肋骨条藻、琼氏圆筛藻、窄隙角毛藻、星脐圆筛藻、中华齿状藻 (*Odontella sinensis*)、菱形海线藻等 (表 1)。在调查区西南部出现马西里亚角藻、梭梨甲藻、波状角藻等暖水种, 表明秋季此海域仍受到台湾暖流的影响。秋季铁氏束毛藻仍在长江口门之外的水域大量出现, 平均丰度为 0.22×10^4 trichome m^{-3} , 未将其计入总的细胞丰度内。

2.2 细胞丰度的平面分布

2006 年冬季, 调查区浮游植物细胞丰度介于 $1.94 \times 10^4 \sim 193.10 \times 10^4$ cells m^{-3} 之间, 平均为 47.75×10^4 cells m^{-3} , 浮游植物的密集区位于近岸河口区, 由近岸向外海细胞丰度逐渐降低 (图 2)。细胞丰度的峰值出现在河道中的 37 号站, 中肋骨条藻是主要的优势种, 其丰度比例为 84.1%。硅藻的细胞丰度介于 $1.87 \times 10^4 \sim 193.10 \times 10^4$ cells m^{-3} , 平均值为 46.48×10^4 cells m^{-3} , 硅藻是冬季调查区的优势群体, 其平面分布与总细胞丰度的平面分布相似。甲藻的细胞丰度介于 $0.06 \times 10^4 \sim 0.75 \times 10^4$ cells m^{-3} , 平均值 0.16×10^4 cells m^{-3} , 以三角角藻和梭形角藻 (*Ceratium fusus*) 为主, 甲藻总细胞丰度较低, 对浮游植物的分布格局影响不大。

2006 年春季, 调查区浮游植物细胞丰度介于 $0.87 \times 10^4 \sim 2851.81 \times 10^4$ cells m^{-3} 之间, 平均为 229.40×10^4 cells m^{-3} , 浮游植物的密集区位于调查区东南部, 在 26 号站出现细胞丰度的峰值 (图 2), 主要优势种为尖

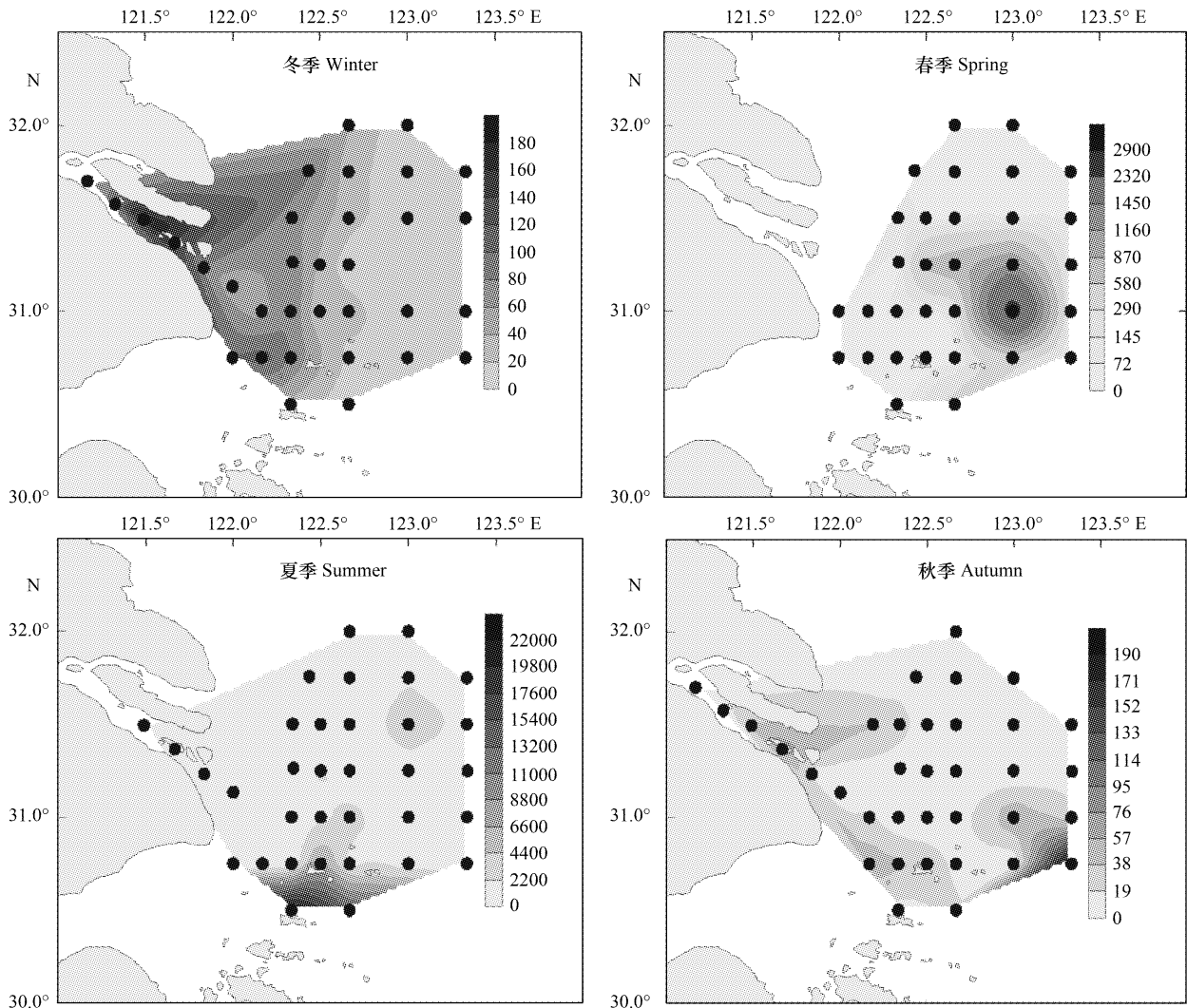


图2 2006 年长江口浮游植物的细胞丰度平面分布 ($\times 10^4$ cells m^{-3})

Fig.2 Horizontal distribution of phytoplankton cell abundance in Yangtze River Estuary in 2006 ($\times 10^4$ cells m^{-3})

刺伪菱形藻和中肋骨条藻,两者占总细胞丰度的 97.9%。硅藻的细胞丰度介于 $0.61 \times 10^4 \sim 2822.75 \times 10^4$ cells m^{-3} ,平均值为 216.48×10^4 cells m^{-3} ,其平面分布与浮游植物的平面分布相似。甲藻的细胞丰度介于 $0.21 \times 10^4 \sim 71.10 \times 10^4$ cells m^{-3} ,平均值为 12.16×10^4 cells m^{-3} ,最大值出现在调查区东部的 14 号站,优势种为米氏凯伦藻和夜光藻。春季甲藻的物种丰富度和细胞丰度都有所上升,但相对硅藻其总细胞丰度比较低,对浮游植物总细胞丰度的贡献较小。

2006 年夏季,调查区浮游植物细胞丰度介于 $0.30 \times 10^4 \sim 22950.23 \times 10^4$ cells m^{-3} 之间,平均为 2027.41×10^4 cells m^{-3} ,各调查站之间细胞丰度的变化幅度较大。浮游植物的密集区位于调查区南端(图 2),中肋骨条藻是主要的优势种,其他各站浮游植物细胞丰度相对比较低。硅藻的细胞丰度介于 $0.20 \times 10^4 \sim 22934.50 \times 10^4$ cells m^{-3} ,平均为 2012.79×10^4 cells m^{-3} ,其平面分布与总的细胞丰度相似。甲藻的细胞丰度介于 $0.09 \times 10^4 \sim 178.72 \times 10^4$ cells m^{-3} ,平均值为 14.11×10^4 cells m^{-3} ,峰值出现在调查区东北部,主要优势种是具齿原甲藻。

2006 年秋季,调查区浮游植物细胞丰度介于 $0.60 \times 10^4 \sim 211.49 \times 10^4$ cells m^{-3} 之间,平均为 22.15×10^4 cells m^{-3} ,峰值出现在调查区东南部(图 2),主要优势种为旋链角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*)、细弱海链藻(*Thalassiosira subtilis*)、矮小短棘藻(*Detonula pumila*)、菱形海线藻和尖刺伪菱形藻,其他各站细胞丰度比较低。硅藻的细胞丰度介于 $0.57 \times 10^4 \sim 207.23 \times 10^4$ cells m^{-3} ,平均值为 21.35×10^4 cells m^{-3} ,其平面分布与总的细胞丰度的平面分布相似。甲藻的细胞丰度介于 $0.0046 \times 10^4 \sim 4.23 \times 10^4$ cells m^{-3} ,平均值为 0.64×10^4 cells m^{-3} ,甲藻细胞丰度峰值也出现在调查区的东南部,主要优势物种是斯氏扁甲藻(*Pyrophacus steinii*)和波状角藻。

2.3 优势种的时空分布

浮游植物优势物种在研究水域存在明显的季节演替现象,各季度优势物种的分布示于图 4。中肋骨条藻在全年都具有较高的优势度,它适宜生长在盐度为 14~23,温度为 25℃ 左右的水域,其丰度水平分布趋势与长江冲淡水舌一致。冬季中肋骨条藻的细胞丰度平均值为 12.98×10^4 cells m^{-3} ,主要分布在河道中;春季中肋骨条藻的细胞丰度平均值为 47.20×10^4 cells m^{-3} ,主要分布在近岸;夏季中肋骨条藻的细胞丰度平均值为 1267.31×10^4 cells m^{-3} ,在全年中是最高的,丰水期冲淡水的影响范围扩大,口门外的中肋骨条藻分布有伸向东南的趋势;秋季中肋骨条藻的丰度平均值为 4.87×10^4 cells m^{-3} ,主要分布在河道和近岸河口区。

星脐圆筛藻和琼氏圆筛藻是冬季和秋季两种重要的优势物种,它们细胞个体较大,很少连成群体。冬季星脐圆筛藻的细胞丰度平均值为 10.16×10^4 cells m^{-3} ,琼氏圆筛藻的细胞丰度平均值为 8.10×10^4 cells m^{-3} ,它们主要分布在调查区近岸区域;秋季星脐圆筛藻的细胞丰度平均值为 1.57×10^4 cells m^{-3} ,琼氏圆筛藻的细胞丰度平均值 3.37×10^4 cells m^{-3} ,与冬季不同,它们在外海区成为优势物种。

春季长江口水域甲藻的比例上升,具齿原甲藻和夜光藻成为调查区的优势种,米氏凯伦藻在调查区域出现的频率也比较高。具齿原甲藻和米氏凯伦藻由于细胞个体较小,极易在拖网过程中漏掉,其丰度可能被低估了。具齿原甲藻的细胞丰度平均值为 3.16×10^4 cells m^{-3} ,夜光藻细胞丰度平均值为 3.60×10^4 cells m^{-3} ,二者主要分布在调查区的东北部。

尖刺伪菱形藻、细长翼鼻状藻、菱形海线藻、皇冠角毛藻、窄隙角毛藻和具槽帕拉藻这些物种其细胞连成长长的群体,是网采浮游植物中的优势物种。尖刺伪菱形藻是春季最优势种,其细胞丰度平均值为 161.54×10^4 cells m^{-3} ,主要分布在调查区东南部。细长翼鼻状藻、菱形海线藻和皇冠角毛藻是夏季调查区的优势种。细长翼鼻状藻细胞丰度平均值 332.44×10^4 cells m^{-3} ,主要分布在调查区的东北部;菱形海线藻属于海洋广布性物种,其细胞丰度平均值为 148.53×10^4 cells m^{-3} ,在整个调查区都有分布;皇冠角毛藻的细胞丰度平均值为 78.58×10^4 cells m^{-3} ,主要分布在近岸区。窄隙角毛藻是秋季的优势种之一,其细胞丰度平均值为 1.22×10^4 cells m^{-3} 主要分布在 122°E 以东的水域。具槽帕拉藻是冬季的优势种之一,其细胞丰度平均值为 6.43×10^4 cells m^{-3} ,主要分布在外海区域(图 3)。

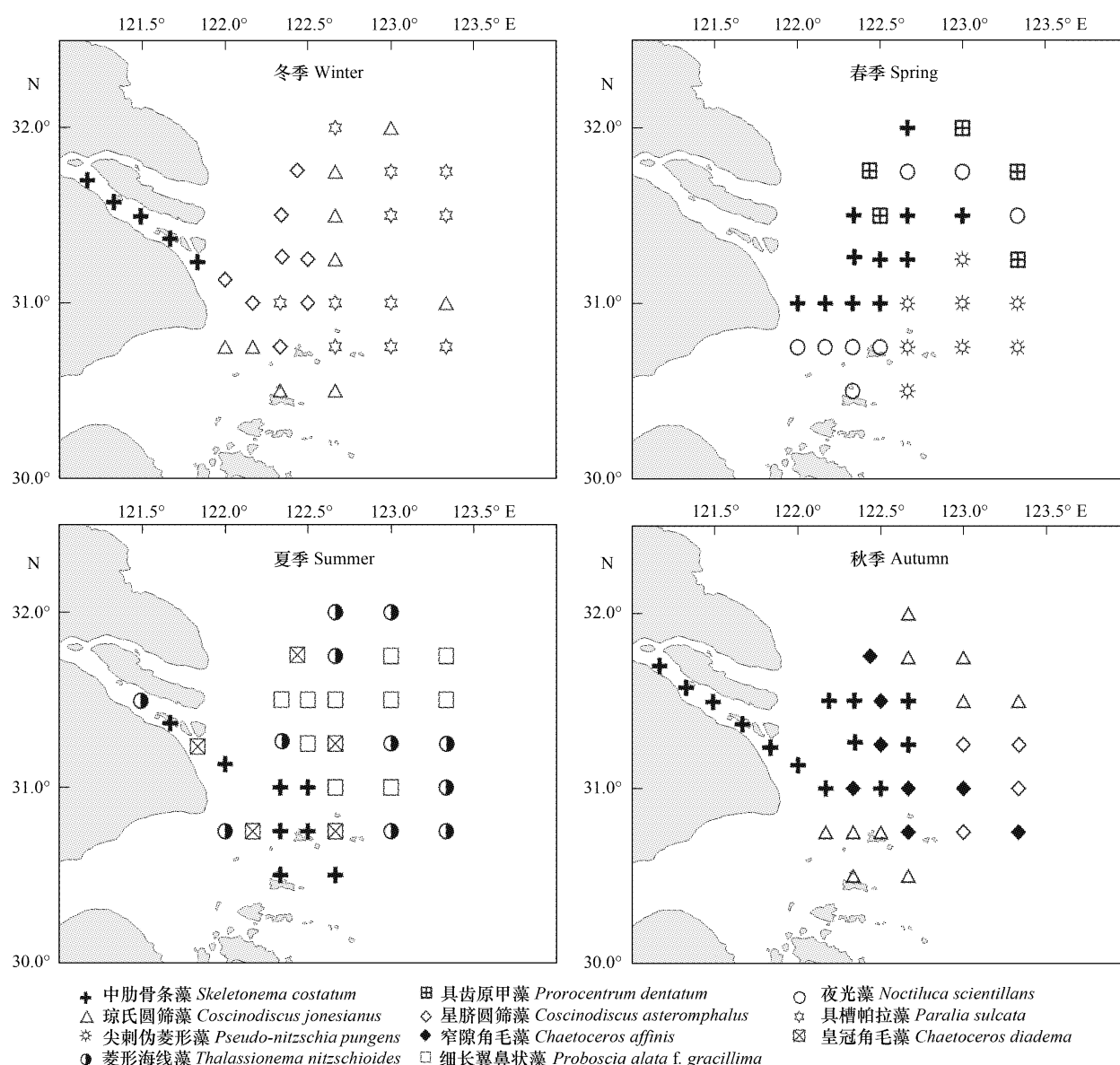


图3 2006年长江口网采浮游植物优势种的平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of netz-phytoplankton dominant species in Yangtze River Estuary in 2006

2.4 多样性的平面分布

多样性指数的平面分布表明在高生物量区域浮游植物群落多样性比较低,除秋季多样性指数在细胞丰度高值区出现高值分布外,香农-威纳指数和 Pielou 均匀度指数均与细胞丰度呈相嵌分布。中肋骨条藻在近岸河口水域全年都占较高优势度,此水域浮游植物群落的物种丰富度和均匀度都较低,群落结构较为简单。春季尖刺伪菱形藻占有绝对优势(图3),在细胞密集区出现香农-威纳指数和 Pielou 均匀度指数的最低值。夏季在调查区的东北部和南部各出现一个多样性指数的低值区,前者是细长翼鼻状藻占优势,后者是中肋骨条藻,优势种单一且优势度较大导致了多样性指数下降。在秋季细胞密集区域,由于窄隙角毛藻和星脐圆筛藻的优势度相当,群落具有较高的均匀度和多样性水平(图4,图5)。由此可见,优势种的物种数量和细胞丰度对浮游植物的群落多样性具有重要的影响。

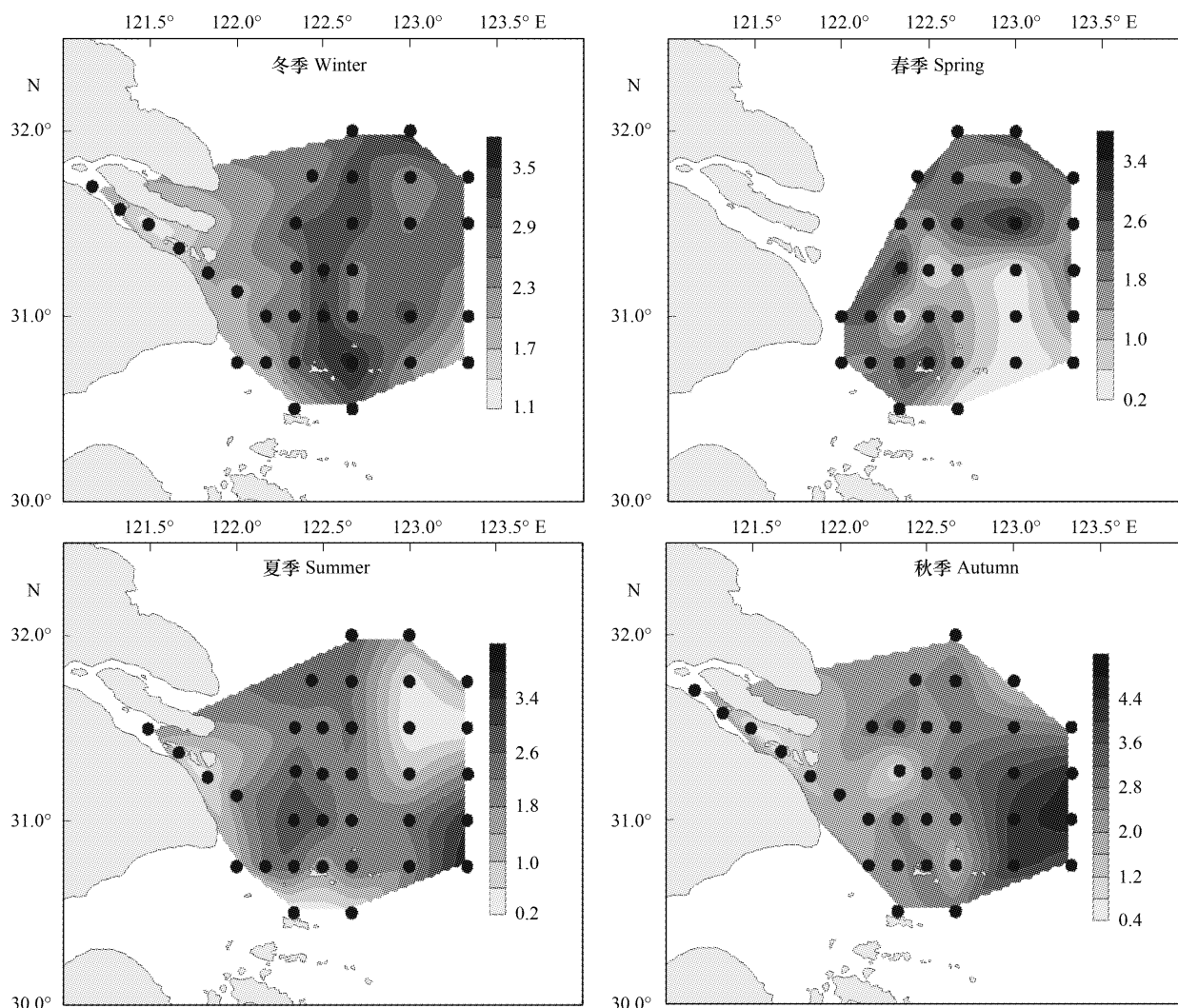


图4 2006年长江口浮游植物的香农-威纳多样性指数平面分布

Fig. 4 Horizontal distribution of Shannon-Wiener diversity index in Yangtze River Estuary in 2006

2.5 浮游植物的季节变化

2.5.1 物种组成的季节变化

浮游植物物种数量在夏季最高,秋季次之,春季最低。硅藻在物种丰富度上占据优势,甲藻也是调查水域重要的浮游植物类群,其物种数量在夏季和春季相对较高,在秋季和冬季较低,调查水域还发现少量的绿藻、金藻和蓝藻(图6)。

2.5.2 浮游植物丰度的季节变化

长江口水域网采浮游植物的细胞平均丰度在夏季最高,其次为春季,秋季最低,冬季的细胞丰度在各站之间变化幅度是最小的。硅藻细胞丰度的季节变化与浮游植物相似。甲藻的细胞平均丰度在夏季最高,其次为春季,冬季最低(图7)。

2.6 与历史资料的对比

本次调查所获4季度月网采浮游植物的丰度资料与历史资料基本吻合,季节变化也基本一致,但也有个别季度差别较大(表2)。在研究海区不同年份相同月份的浮游植物丰度常存在相当大的波动,造成这种丰度年际差异的原因比较多,长江径流量的年际变动可能是主要原因之一^[7]。

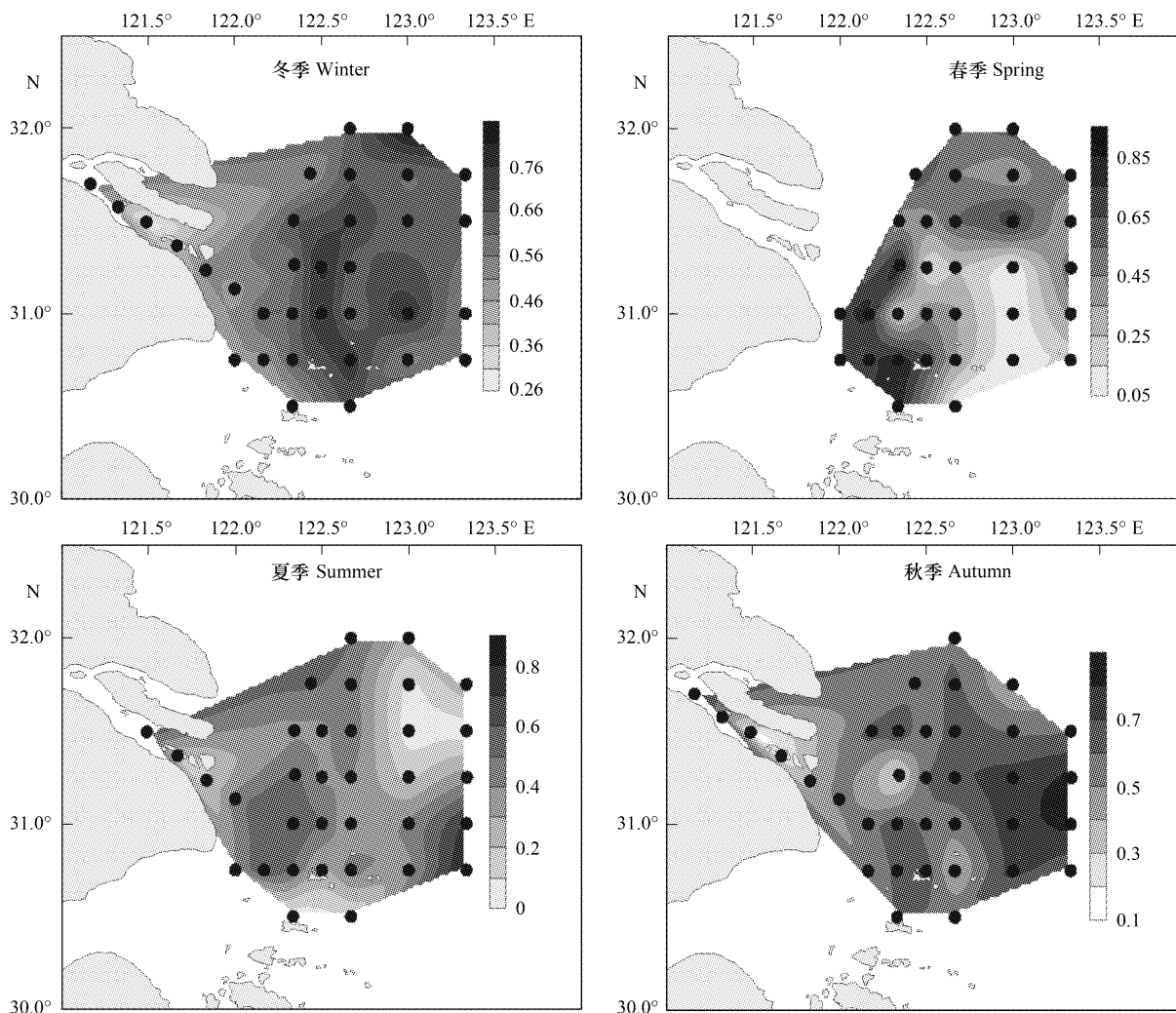


图5 2006年长江口浮游植物均匀度指数平面分布

Fig. 5 Horizontal distribution of Pielou evenness index in Yangtze River Estuary in 2006

2.7 浮游植物与环境因子的关系

应用 SPSS15.0 对长江口网采浮游植物细胞丰度与环境因子进行 Pearson 相关性分析,结果列于表 3。冬季浮游植物细胞丰度与化学耗氧量、硝酸盐、硅酸盐、磷酸盐、亚硝酸盐、铵盐、总氮、总磷以及悬浮体呈正相关关系,而与温度和盐度呈现显著负相关关系,长江冲淡水携带的营养盐因混合稀释等作用浓度自西向东逐渐降低,营养盐水平随盐度升高而降低,冬季浮游植物在长江口门附近形成丰度高值区与长江冲淡水带来的营养盐以及优势种中肋骨条藻等适应在高混浊度的水域生存相关。冬季浮游植物与叶绿素的显著正相关关系表明网采浮游植物(直径大于 $76\mu\text{m}$)可能是调查期长江口水域的主要初级生产者。春季与冬季的情况相反,浮游植物细胞丰度与盐度呈正相关关系,而与各类营养盐呈负相关关系。春季细胞的高值区位于外海区,其主要优势种为尖刺伪菱形藻,其细胞连成细长的群体,近岸高混浊度可能不利于其生长。夏季浮游植物细胞

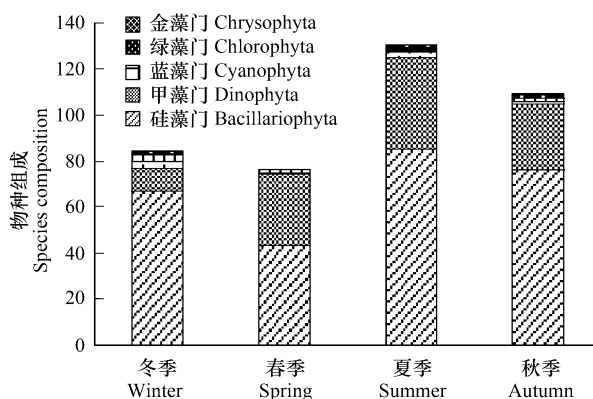


图6 2006年长江口浮游植物物种组成的季节变化

Fig. 6 Seasonal variation of phytoplankton species composition in Yangtze River Estuary in 2006

丰度与温度呈负相关关系,与盐度的相关性不显著,浮游植物密集区位于远岸区域。秋季浮游植物细胞丰度与盐度和温度呈正相关关系,浮游植物密集区也位于远岸区域。浮游植物细胞丰度与 pH 值和溶解氧呈现正相关关系,但夏季和秋季的浮游植物细胞丰度与溶解氧呈负相关。值得注意的一点是冬季甲藻细胞丰度与营养盐的关系与总的浮游植物细胞丰度相反,表明近岸高浑浊水域不太适合甲藻的生长。

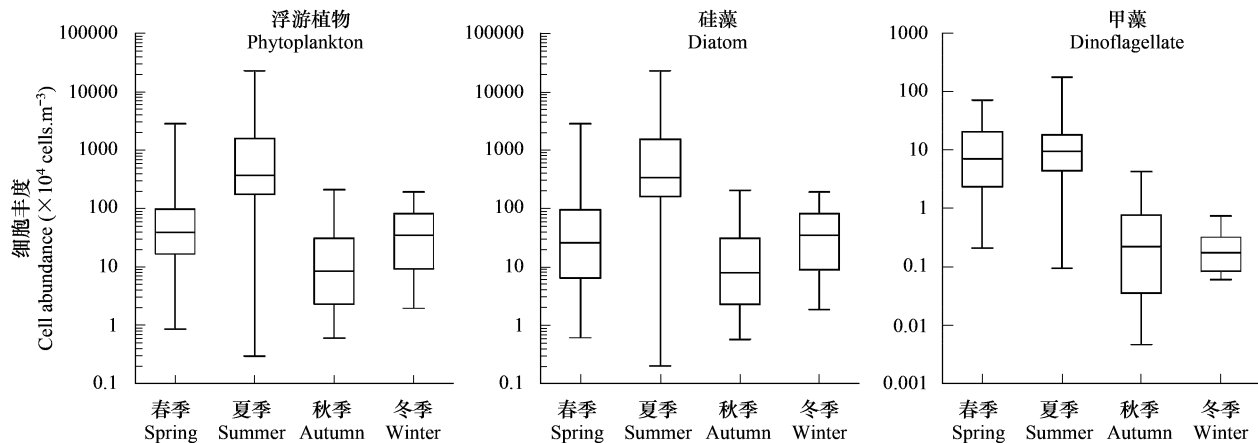


图7 2006年长江口浮游植物细胞丰度的季节变化

Fig. 7 Seasonal variation of phytoplankton cell abundance in Yangtze River Estuary in 2006

表2 长江口水域网采浮游植物丰度与历史资料的比较

Table 2 Comparison historical data of phytoplankton cell abundance in the Yangtze River Estuary

采样时间 Sampling time	分析方法 Analysis method	物种数 Species richness	细胞丰度 Cell abundance ($\times 10^4$ cells m^{-3})	调查海区 Survey area	文献资料 References
2006-02	网采	84	47.8	121° ~ 123.5°E, 30° ~ 32.5°N	本研究 This study
2006-05	网采	77	229.4		
2006-08	网采	130	2027.4		
2006-11	网采	109	22.1		
2002-01	网采	84	29.1	121° ~ 124°E, 29° ~ 32°N	[20]
2001-07	网采	102	927	121° ~ 124°E, 28° ~ 32°N	
2001-05	网采	63	153	121° ~ 123.5°E, 30.5° ~ 32.5°N	
2000-11	网采	73	485		
2000-05	网采	33	10.8	121° ~ 123°E, 30° ~ 32°N	[21]
1997-05	网采	66	546.5	121°00' ~ 122°40'E, 31°00' ~ 31°50'N	[8]
1996-09	网采		1936.7		
1991-03	网采	88	4.1	121°00' ~ 122°15'E, 31°10' ~ 31°55'N	[22]
1990-08	网采	97	34.5		
1989-08	网采	—	18922.2	122°00' ~ 124°30'E, 30°40' ~ 31°50'N	[7]
1988-12	网采	—	30.4	121°05' ~ 123°00'E, 30°50' ~ 31°50'N	
1988-08	网采	—	250.5	121°50' ~ 123°00'E, 30°50' ~ 31°50'N	
1985-08 ~ 1986-10	网采	160	3000	121°10' ~ 124°00'E, 30°20' ~ 32°00'N	[2]

3 结论

长江口水域浮游植物以硅藻为主,甲藻在群落中的比重较小,但在春季甲藻比例有所上升,甚至会引发大规模水华。浮游植物优势物种在研究水域存在明显的季节演替现象,中肋骨条藻在长江口水域全年都具有较高的优势度,它是调查水域夏、秋季的最优势物种;此外,还有季节性的优势物种,春季的夜光藻和具齿原甲藻,夏季的细长翼鼻状藻,秋、冬季的琼氏圆筛藻和星脐圆筛藻。近年来长江口水域浮游植物的物种组成有了

表 3 2006 年长江口浮游植物细胞丰度与环境因子的 Pearson 相关性

Table 3 Pearson correlation analysis between phytoplankton cell abundance and environmental factors in Yangtze River Estuary in 2006

项目 Item	冬季 Winter		春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumn	
	a	b	a	b	a	b	a	b
盐度 Salinity	-0.401 *	0.636 **	0.209	0.319	0.040	0.243	0.170	0.309
温度 Temperature	-0.430 *	-0.410 *	-0.056	-0.387 *	-0.218	-0.188	0.334	0.544 **
溶解氧 DO	0.046	-0.202	0.151	0.126	-0.117	0.218	-0.212	-0.378 *
pH 值 pH value	0.340	-0.287	0.150	0.336	0.222	0.160	0.220	0.362 *
化学耗氧量 COD	0.338	-0.663 **	-0.127	-0.205	-	-	-	-
硝酸盐 Nitrate	0.397 *	-0.620 **	-0.171	-0.486 *	-	-	-	-
磷酸盐 Phosphate	0.143	-0.303	-	-	-	-	-	-
硅酸盐 Silicate	0.374 *	-0.451 *	-0.169	-0.432 *	-	-	-	-
亚硝酸盐 Nitrite	0.346 *	-0.564 **	-0.091	-0.143	-	-	-	-
铵盐 Ammonium	0.416 *	-0.487 **	-	-	-	-	-	-
总氮 TN	0.368 *	-0.642 **	-0.105	-0.356 *	-	-	-	-
总磷 TP	0.448 *	-0.370 *	-0.093	-0.183	-	-	-	-
悬浮体 Suspended material	0.201	-0.362 *	-0.156	0.376 *	-	-	-	-
叶绿素 a Chlorophyll a	0.354 *	-0.495 **	0.198	0.324	-	-	-	-

a: 浮游植物细胞丰度 Cell abundance of phytoplankton; b: 甲藻的细胞丰度 b: Cell abundance of dinoflagellate; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; -: 表示没有相关环境因子数据 - : Correlated environmental factors data unavailable

很大的改变,表现为甲藻物种数量的增加,米氏凯伦藻和具齿原甲藻已成为春季长江口水域的浮游植物优势物种,近年来东海频发的春季水华主要由这两个物种引发。另外浮游植物生物量的高值常由单一物种贡献,特别是在水华暴发时期,长江口浮游植物的群落多样性呈降低趋势。浮游植物生物量是各种环境因子共同作用的结果,长江口水域富营养化程度日益加剧,浮游植物的群落结构也随之变化,研究浮游植物群落对环境因子变化的响应机制及其演替的方向需要长期海洋调查资料的积累。

References:

- [1] Guo Y J, Yang Z Y. The ecological studies on the phytoplankton over the continental shelf of the East China Sea in the summer of 1976. *Studia Marina Sinica*, 1982, 19: 11—32.
- [2] Guo Y J, Yang Z Y. Quantitative variation and ecological analysis of phytoplankton in the estuarine area of the Changjiang River. *Studia Marina Sinica*, 1992, 33: 167—189
- [3] Mao X H, Li R X. The distribution and ecological characteristics of planktonic dinoflagellates in the north continental shelf area of East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 1984, 6(5): 672—677.
- [4] Qian S B, Chen G W. The comprehensive investigation in along Yangtze River Estuary to Jeju Island and its adjacent waters: Phytoplankton ecology. *Journal of Ocean College of Shandong*, 1986, 16(2): 26—55.
- [5] Lin J M. The distribution of planktonic dinoflagellates in East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 1994, 16(2): 110—115.
- [6] Gu X G, Yuan Q, Shen H T, *et al.* The ecological study on phytoplankton in maximum turbid zone of Changjiang Estuary. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1995, 2(1): 16—27.
- [7] Gu X G, Yuan Q, Yang J W, *et al.* An ecological study on phytoplankton in frontal region of Changjiang Estuarine Area. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1995, 2(1): 1—15.
- [8] Xu Z L, Bai X M, Yuan Q, *et al.* An ecological study on phytoplankton in the Changjiang Estuary. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1999, 6(5): 52—54.
- [9] Pu X M, Wu Y L, Zhang Y S, *et al.* Nutrient limitation of phytoplankton in the Changjiang Estuary. I. Condition of nutrient limitation in autumn. *Acta Oceanologica Sinica*, 2000, 22(4): 60—66.
- [10] Luan Q S, Sun J. Song S Q, *et al.* Canonical correspondence analysis of summer phytoplankton community and its environment in the Yangtze River Estuary, China. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(3): 445—450.
- [11] Luan Q S, Sun J, Shen Z L, *et al.* Phytoplankton assemblage of Yangtze River estuary and the adjacent East China Sea in Summer, 2004. *Journal*

of Ocean University of China, 2006, 5(2):123—131.

- [12] Wang Y L, Yuan Q, Shen X Q, *et al.* Distribution status and change tendency of phytoplankton during summer in Changjiang Estuary and adjacent waters. *Marine Environmental Science*, 2008, 27(2): 169—172.
- [13] Zhu G H, Xu W Y, Zhu D D, *et al.* Distribution of phytoplankton and water dynamical environmental factors in high red tide occurrence area of Changjiang River estuary. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(7): 1135—1139.
- [14] Wang J H. HAB alga nearby Changjiang Estuary. *Marine Environmental Science*, 2002, 21(2): 37—41.
- [15] Zhou W H, Huo W Y, Yuan X C, *et al.* Distribution feature of chlorophyll *a* and primary productivity in high frequency area of red tide in East China Sea during spring. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(7): 1055—1059.
- [16] State Bureau of Quality and Technical Supervision. *Marine organism investigation, Protocol for marine investigation*. Beijing: Standards Press of China, 1992. 17—20.
- [17] Shannon C E, Weaver W. *The mathematical theory of communication*. Urbana IL: University of Illinois Press, 1949. 1—117.
- [18] Pielou E C. *An introduction to mathematical ecology*. New York: Wiley-Interscience, 1969. 1—286.
- [19] Sun J, Liu D Y. The preliminary notion on nomenclature of common phytoplankton in China Seas waters. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(3): 271—286.
- [20] Wu Y L, Fu Y N, Zhang Y S, *et al.* Phytoplankton distribution and its relation to the runoff in the Changjiang (Yangtze) Estuary. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2004, 35(3): 246—251.
- [21] Wang Y L, Yuan Q, Shen X Q. Ecological character of phytoplankton in spring in the Yangtze River estuary and adjacent waters. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2005, 12(3): 300—306.
- [22] Shen H, Xu R, Wang G L. Studies on phytoplankton in waters adjacent to islands of Shanghai. *Marine Science Bulletin*, 1995, 14(4): 26—37.

参考文献:

- [1] 郭玉洁, 杨则禹. 1976年夏季东海陆架区浮游植物生态的研究. *海洋科学集刊*, 1982, 19: 11~32.
- [2] 郭玉洁, 杨则禹. 长江口浮游植物的数量变动及生态分析. *海洋科学集刊*, 1992, 33: 167~189.
- [3] 毛兴华, 李瑞香. 东海北部陆架区浮游甲藻的分布及其生态特征. *海洋学报*, 1984, 6(5): 672~677.
- [4] 钱树本, 陈国蔚. 长江口及济州岛邻近海域综合调查研究报告. *山东海洋学报*, 1986, 16(2): 26~55.
- [5] 林金美. 东海浮游甲藻类的分布. *海洋学报*, 1994, 16(2): 110~115.
- [6] 顾新根, 袁骥, 沈焕庭, 等. 长江口最大浑浊带浮游植物的生态研究. *中国水产科学*, 1995, 2(1): 16~27.
- [7] 顾新根, 袁骥, 杨焦文, 等. 长江口羽状锋区浮游植物的生态研究. *中国水产科学*, 1995, 2(1): 1~15.
- [8] 徐兆礼, 白雪梅, 袁骥, 等. 长江口浮游植物生态研究. *中国水产科学*, 1999, 6(5): 52~54.
- [9] 蒲新明, 吴玉霖, 张永山. 长江口区浮游植物营养限制因子的研究. I. 秋季的营养限制情况. *海洋学报*, 2000, 22(4): 60~66.
- [10] 栾青杉, 孙军, 宋书群, 等. 长江口夏季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析. *植物生态学报*, 2007, 31(3): 445~450.
- [12] 王云龙, 袁骥, 沈新强. 长江口及邻近海域夏季浮游植物分布现状与变化趋势. *海洋环境科学*, 2008, 27(2): 169~172.
- [13] 朱根海, 许卫忆, 朱德第, 等. 长江口赤潮高发区浮游植物与水动力环境因子的分布特征. *应用生态学报*, 2003, 14(7): 1135~1139.
- [14] 王金辉. 长江口邻近水域的赤潮生物. *海洋环境科学*, 2002, 21(2): 37~41.
- [15] 周伟华, 霍文毅, 袁翔城, 等. 东海赤潮高发区春季叶绿素 *a* 和初级生产力的分布特征. *应用生态学报*, 2003, 14(7): 1055~1059.
- [16] 国家技术监督局. *海洋生物调查, 海洋调查规范*. 北京: 中国标准出版社, 1992. 17~20.
- [19] 孙军, 刘东艳. 中国海区常见浮游植物种名更改初步意见. *海洋与湖沼*, 2002, 33(3): 271~286.
- [20] 吴玉霖, 傅月娜, 张永山, 等. 长江口海域浮游植物分布及其与径流的关系. *海洋与湖沼*, 2004, 35(3): 246~251.
- [21] 王云龙, 袁骥, 沈新强. 长江口及邻近水域春季浮游植物的生态特征. *中国水产科学*, 2005, 12(3): 300~306.
- [22] 沈竑, 徐韧, 王桂兰. 上海市海岛周围水域浮游植物的调查研究. *海洋通报*, 1995, 14(4): 26~37.