

青草沙邻近水域网采浮游植物群落结构特征

赵冉 孙振中 张玉平 丁义

(上海市水产研究所 上海市渔业环境监测站, 上海 200433)

摘要 根据 2012 年 2-11 月在青草沙邻近水域的采样调查,对调查水域网采浮游植物的群落结构特征进行了研究。共鉴定出浮游植物 7 门 46 属 71 种,浮游植物以硅藻为主,蓝藻和绿藻在群落中占有一定比重,此外还有少量的甲藻、金藻、隐藻和裸藻。浮游植物物种多为温带近岸物种并有少量淡水物种,骨条藻 *Skeletonema* spp. 在该水域全年都具有较高的优势度。青草沙邻近水域网采浮游植物平均细胞丰度春季最高,为 548.09 ind/ml,夏季其次,冬季最低,为 2.19 ind/ml,冬季各站之间细胞丰度差异最小。该水域浮游植物密集区日迁移主要受潮汐作用影响,而季节变动则主要受冲淡水转向影响,与长江冲淡水季节性扩展方向吻合。聚类分析结果表明,调查水域浮游植物类群存在季节差异,长江径流量的季节变动与长江冲淡水季节性转向可能是造成这种差别的主要原因。典范性对应分析表明,环境因子驱动长江口浮游植物群集产生季节变动,不同年份间存在相似性。

关键词 浮游植物;青草沙;群落结构;聚类分析

中图分类号 Q948.1 文献标志码 A 文章编号 1000-7075(2014)03-0009-10

The netz-phytoplankton assemblage structure of Qingcaosha Reservoir adjacent waters

ZHAO Ran SUN Zhen-zhong ZHANG Yu-ping DING Yi

(Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai Fishery Environmental Monitoring Station, Shanghai 200433)

ABSTRACT Changjiang River estuary is the major economic offshore fishing water. Construction of Qingcaosha Reservoir may become unfavorable factors of juvenile growth and complementary resources in Changjiang Delta. This may eventually lead to the degradation of estuarine spawning grounds and abnormal biological community structure, and may restrict the sustainable use of fishery resources. Ecological characteristics of phytoplankton are important indicators of environmental quality assessment of fisheries. A multidisciplinary study on netz-phytoplankton assemblage structure was carried out in Qingcaosha Reservoir adjacent waters during February to November, 2012. This study identified 7 phyla, including 46 genera and 71 species, in which diatoms dominated, and Cyanophyta, Chlorophyta, Dinoflagellates, Chrysophyta, Cryptophyta and Euglenophyta were also found. *Skeletonema* spp. was prevailed cross-season in the whole investigation period. Temperate coastal species were the major ecotype, while fresh water species were occasional. Cell abundance decreased in turn from

公益性行业(农业)科研专项“长江口重要渔业资源养护与利用关键技术集成与示范”(201203065)和上海市科技兴农重点攻关项目“长江口鱼类产卵场恢复重建关键技术研究”沪农攻科字(2012)第 4-1 号]共同资助

收稿日期:2013-04-04;接受日期:2013-08-28

作者简介:赵冉(1982-),女,助理工程师,硕士,主要从事海洋浮游植物生态学研究。E-mail: zhaorantutu@hotmail.com,

Tel: (021)65482263

spring, summer, autumn to winter and the average value of spring and winter were 548.09 and 2.19 ind/ml, respectively. The major factor of daily migration was tidal impact, while the seasonal variation was affected by diluted water. Seasonal variation patterns in the survey area were discriminated by the cluster analysis of the phytoplankton assemblages. The change in seasonal runoff of the river and direction transformation of Changjiang diluted water was responsible for the variations. The canonical correspondence analysis (CCA) showed that the environmental factors drive the assemblage variation during all seasons.

KEY WORDS Phytoplankton; Qingcaosha; Assemblage structure; Cluster analysis

长江河口区是多种经济鱼、虾和蟹类的繁殖、育幼以及索饵场所之一,既是江海洄游鱼类的洄游通道,又是咸淡水鱼类的栖息地,长江河口区也是我国重要的传统作业渔场(沈新强等 2013)。长江河口上海江段(徐六泾以下至启东嘴和南汇嘴连线)主要鱼种有洄游性鱼类、咸淡水鱼类、江河半洄游性鱼类和定居性鱼类等,其中包括中华鲟、日本鳗鲡、刀鲚、银鱼和河鲀等国家保护和珍稀名贵经济品种(庄平等 2006),是我国近海重要经济渔业水域。

青草沙水源地位于长江口南北港分流口下方,长兴岛北侧和西侧的中央沙、青草沙以及北小泓、东北小泓等水域范围。随着上海的城市建设,预计至2020年上海城市供水总规模为 $1418\text{m}^3/\text{d}$,供水需求将有大规模增长,原水供应面临不足。青草沙水源地原水工程于2007年6月正式开工,2011年6月全面投入运行,作为上海市规划战略水源地,对于全市水资源安全保障以及城市可持续发展具有重要意义(车越等 2005;上海勘测设计研究院 2006;顾玉亮等 2008)。水源地开发建设可能成为影响长江口幼鱼生长和资源量补充的不利因素,最终导致河口产卵场退化以及生物群落结构异常,制约渔业资源可持续利用(郭玉洁等 1982、1992;上海勘测设计研究院 2006;张全等 2008;张宏伟等 2009)。浮游植物生态特征是渔场环境质量评估的重要指标,本研究根据2012年青草沙邻近水域4个航次浮游植物网采样品,从物种组成、群集结构等多方面进行研究,以为长江河口区渔业生态系统的评估保护和国内河口水库型水源地建设提供基础资料和参考。

1 调查与研究方法

1.1 航次调查取样

于2012年2月25日-3月6日(冬季)、5月25日-6月4日(春季)、8月14日-21日(夏季)、11月6日-17日(秋季)在青草沙及其邻近水域($31^{\circ}-32^{\circ}46' \text{N}$, $121^{\circ}08' - 122^{\circ}11' \text{E}$)进行了物理、化学和生物资源的综合外业调查,沿河口内、沿海共设17个站位(图1),于涨潮和落潮时分别取样。

1.2 样品分析

按照《海洋调查规范》(国家技术监督局 2007),使用浅水Ⅲ型浮游生物网(网口直径为37 cm,网口面积为 0.1 m^2 ,网身长270 cm,网目

为 $76 \mu\text{m}$),分别于涨潮和落潮时在每个调查站位自底至表垂直拖网一次,立即加入鲁格试剂固定,最终浓度为5%,4个航次共采集浮游植物网样136个。实验室内浮游植物样品经浓缩,取0.25 ml浮游植物样品于Palmer Maloney型计数框,在Olympus CKX31-A12PHP倒置显微镜200和400倍下进行物种鉴定和细胞计数。温度、

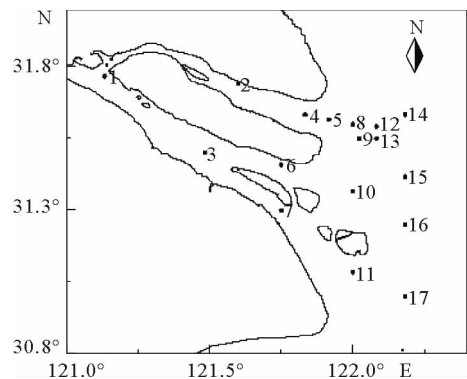


图1 青草沙邻近水域调查站位

Fig. 1 Sampling stations in Qingcaosha Reservoir adjacent water

盐度、pH 值、溶解氧等环境参数用经过标定的 WTW Multi 3430 多参水质分析仪进行现场测定,碱性高锰酸钾法测定化学需氧量,分光光度计法测定叶绿素,重量法测定悬浮物,营养盐($\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{SiO}_3\text{-Si}$)样品分别采用离子色谱法、萘基乙二胺分光光度法、纳氏试剂比色法、磷钼蓝分光光度法、硅钼黄法进行分析(中国环境保护标准汇编 2001;海洋监测规范 2007)。

1.3 数据分析

浮游植物群落指数采用香农-威纳指数(Shannon-Wiener index)(Shannon 1949)、物种均匀度指数(Pielou index)(Pielou 1969)和优势度(Y)(徐兆礼等 1993)。浮游植物数据矩阵经过平方根转换,运用 Minitab 15 统计软件采用类平均法做 Q 聚类。使用表层环境因子数据及浮游植物细胞丰度数据,筛选 4 个航次中 Y 均不小于 0.0002 物种用于排序,经过 $\ln(x+1)$ 转换后,用 Multi-Variate Statistical Package 3.1 软件作物种与环境因子的双序图(bi-plot),对浮游植物与环境因子进行典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)。

2 结果

2.1 环境特征

如表 1 所示,2012 年调查水域表层水温冬季最低,夏季最高;盐度受降雨、径流和海水影响,从春季到冬季逐渐升高;pH 值和磷酸盐浓度随季节变化不明显;硝酸盐和硅酸盐浓度,均为夏季最高,冬季最低,春秋两季略有变动;溶解氧浓度依冬、秋、春、夏顺序逐渐降低,悬浮物浓度则为秋季 > 冬季 > 夏季 > 春季。

表 1 2012 年青草沙邻近水域环境参数
Table 1 Water-quality indices of surface waters in Qingcaosha Reservoir adjacent water, 2012

| 调查时间 Survey time | 温度 Temperature | 盐度 Salinity | 硝酸盐(mg/L) Nitrate | 磷酸盐(mg/L) Phosphate | 硅酸盐(mg/L) Silicate | 溶解氧(mg/L) Dissolved oxygen | 悬浮物(mg/L) Suspended material | pH | |
|---------------------|-------------------|----------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------|-------------|
| 冬季 Winter | 涨潮 Spring tide | 6.42 ± 0.89 | 14.19 ± 12.07 | 1.77 ± 0.72 | 0.06 ± 0.02 | 1.64 ± 0.97 | 12.36 ± 0.40 | 218.88 ± 219.68 | 8.05 ± 0.08 |
| | 落潮 Ebb tide | 6.25 ± 0.74 | 14.45 ± 12.46 | 1.82 ± 0.74 | 0.07 ± 0.03 | 1.70 ± 1.00 | 12.45 ± 0.36 | 338.00 ± 579.36 | 8.05 ± 0.07 |
| 春季 Spring | 涨潮 Spring tide | 22.88 ± 1.10 | 4.56 ± 5.89 | 2.32 ± 0.34 | 0.09 ± 0.02 | 1.92 ± 0.54 | 8.00 ± 0.49 | 83.47 ± 26.37 | 8.22 ± 0.12 |
| | 落潮 Ebb tide | 22.06 ± 0.87 | 4.84 ± 5.40 | 2.36 ± 0.36 | 0.09 ± 0.02 | 1.85 ± 0.58 | 7.94 ± 0.45 | 114.47 ± 46.80 | 8.20 ± 0.12 |
| 夏季 Summer | 涨潮 Spring tide | 29.22 ± 0.89 | 6.41 ± 8.49 | 2.83 ± 0.41 | 0.08 ± 0.02 | 3.21 ± 1.23 | 6.65 ± 0.40 | 122.59 ± 189.86 | 7.95 ± 0.16 |
| | 落潮 Ebb tide | 28.72 ± 0.92 | 8.64 ± 9.45 | 3.04 ± 0.41 | 0.08 ± 0.02 | 2.86 ± 1.11 | 6.59 ± 0.43 | 92.12 ± 118.43 | 7.98 ± 0.17 |
| 秋季 Autumn | 涨潮 Spring tide | 15.85 ± 1.78 | 11.68 ± 10.14 | 2.17 ± 0.34 | 0.05 ± 0.02 | 2.10 ± 0.59 | 9.56 ± 0.37 | 618.29 ± 749.03 | 8.09 ± 0.09 |
| | 落潮 Ebb tide | 15.48 ± 1.69 | 11.11 ± 9.64 | 2.24 ± 0.25 | 0.04 ± 0.01 | 2.12 ± 0.55 | 9.60 ± 0.42 | 420.00 ± 473.72 | 8.10 ± 0.08 |

2.2 浮游植物的种类组成及季节变化

2012 年青草沙邻近水域 4 个调查航次,初步鉴定出浮游植物 7 门 46 属 71 种(表 2),物种组成以温带近岸种为主,并有少量淡水种。其中,硅藻门 30 属 49 种,占物种总数的 69.01%,甲藻门 6 属 10 种,绿藻门 4 属 6 种,蓝藻门 3 属 3 种,金藻门、裸藻门和隐藻门各 1 属 1 种,硅藻是调查区的主要浮游植物类群。

2.3 浮游植物分布及其季节变化

冬季,浮游植物细胞丰度介于 0.03 - 10.42 ind/ml 之间,平均细胞丰度为 2.19 ind/ml,7 号站浮游植物丰

度最高,浮游植物密集区位于调查水域中部偏南近长兴岛南端;春季,浮游植物细胞丰度介于 0.14 - 7201.41 ind/ml,平均细胞丰度为 548.09 ind/ml,浮游植物密集区位于调查水域东部偏南,涨潮与落潮时浮游植物细胞丰度最高分别为 11 号站和 16 号站;夏季,浮游植物细胞丰度介于 0.02 - 824.34 ind/ml,平均细胞丰度为 38.34 ind/ml,浮游植物密集区位于调查水域北部和东北部,涨潮与落潮时浮游植物细胞丰度最高分别为 2 号站和 14 号站;秋季,浮游植物细胞丰度介于 0.06 - 44.28 ind/ml,平均细胞丰度为 7.26 ind/ml,涨潮与落潮时浮游植物细胞丰度最高分别为 7 号和 10 号站(图 2),浮游植物密集区位于调查水域东南部羽状锋邻近,与 2004 - 2006 年同期结果相近(栾青杉 2007;何青等 2009)。调查水域春季浮游植物细胞丰度最高,冬季最低,相对春夏季,细胞丰度秋冬季差距较小(图 2)。

表 2 调查水域浮游植物物种组成

Table 2 Species composition of phytoplankton in Qingcaosha Reservoir adjacent water, 2012

| 物种类别 Species category | | 时间 Time | | | | 总计 Total |
|-----------------------|-----------|-------------|--------|-----------|--------------|----------|
| | | 2月 February | 5月 May | 8月 August | 11月 November | |
| 硅藻 Bacillariophyta | 属 Genus | 22 | 20 | 21 | 17 | 30 |
| | 种 Species | 35 | 30 | 32 | 22 | 49 |
| 甲藻 Pyrrophyta | 属 Genus | 3 | 3 | 3 | 1 | 6 |
| | 种 Species | 4 | 4 | 6 | 1 | 10 |
| 绿藻 Chlorophyta | 属 Genus | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 |
| | 种 Species | 2 | 5 | 2 | 3 | 6 |
| 蓝藻 Cyanophyta | 属 Genus | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| | 种 Species | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 金藻 Chrysophyta | 属 Genus | 1 | * | * | * | 1 |
| | 种 Species | 1 | | | | 1 |
| 裸藻 Euglenophyta | 属 Genus | * | * | * | 1 | 1 |
| | 种 Species | | | | 1 | 1 |
| 隐藻 Cryptophyta | 属 Genus | * | * | * | 1 | 1 |
| | 种 Species | | | | 1 | 1 |
| 物种数 Species | | 45 | 40 | 42 | 30 | 71 |

* :未检出, Not detected

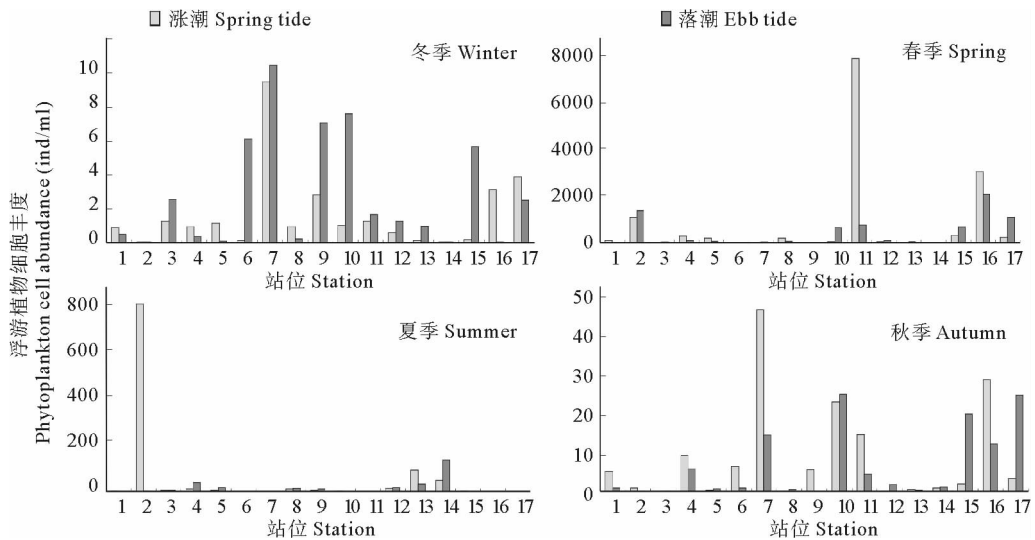


图 2 2012 年青草沙浮游植物细胞丰度季节变化

Fig. 2 Seasonal variation of phytoplankton cell abundance in Qingcaosha Reservoir adjacent water, 2012

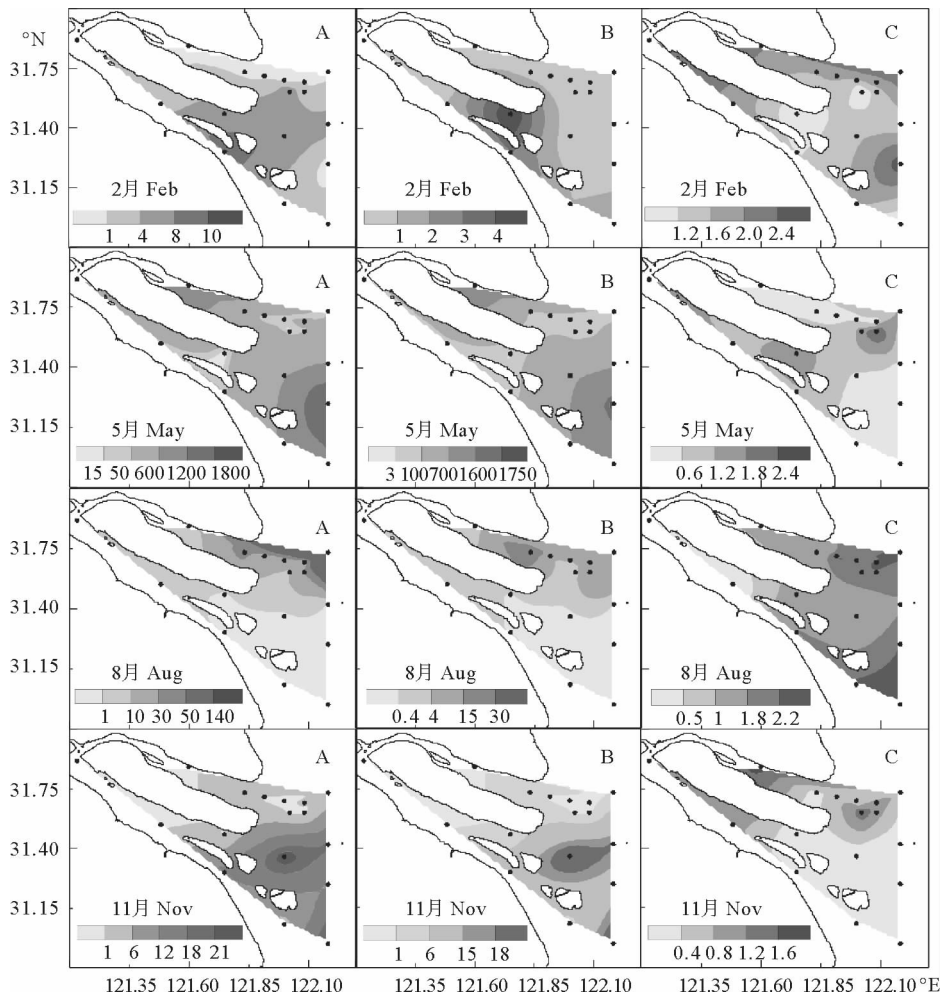


图3 落潮表层浮游植物(A)、骨条藻(B)细胞丰度(ind/ml)及香农-威纳指数(C)分布

Fig.3 Horizontal distributions of cell abundance and the Shannon-Wiener diversity index at low tide,2012

2.4 浮游植物优势种及其分布

冬季主要优势物种为骨条藻 *Skeletonema* spp. 和铁氏束毛藻 *Trichodesmium thiebautii*; 春季主要优势物种为骨条藻, 优势度为 0.86, 明显高于其他物种; 夏季主要优势物种为骨条藻、尖刺伪菱形藻 *Pseudo-nitzschia pungens* 和旋链角毛藻 *Chaetoceros curvisetus*; 秋季主要优势物种为骨条藻和琼氏圆筛藻 *Coscinodiscus jonesianus*。骨条藻为全年优势物种, 春、秋季均超过总细胞丰度的 95%。

2.5 浮游植物的生物多样性

冬季, 香农-威纳指数介于 0.79 – 3.24 之间, 平均为 1.64, Pielou 指数介于 0.19 – 0.95 之间, 平均为 0.50, 17 号站物种多样性和均匀度指数较低; 春季, 香农-威纳指数介于 0.02 – 2.73 之间, 平均为 0.80, Pielou 指数介于 0.01 – 0.79 之间, 平均为 0.28, 11 号和 17 号站物种多样性和均匀度指数较低; 夏季, 香农-威纳指数介于 0.01 – 2.60, 平均为 1.44, Pielou 指数介于 0.00 – 0.48 之间, 平均为 0.27, 2 号和 4 号站物种多样性和均匀度指数较低; 秋季, 香农-威纳指数介于 0.00 – 1.72, 平均为 0.57, Pielou 指数介于 0.00 – 0.35 之间, 平均为 0.12, 冬季物种多样性和均匀度高于其他季节, 15 号和 16 号站物种多样性和均匀度指数较低, 15 号涨潮样品只鉴定出骨条藻。Pielou 指数与香农-威纳指数分布大致相同(图 3、图 4)。

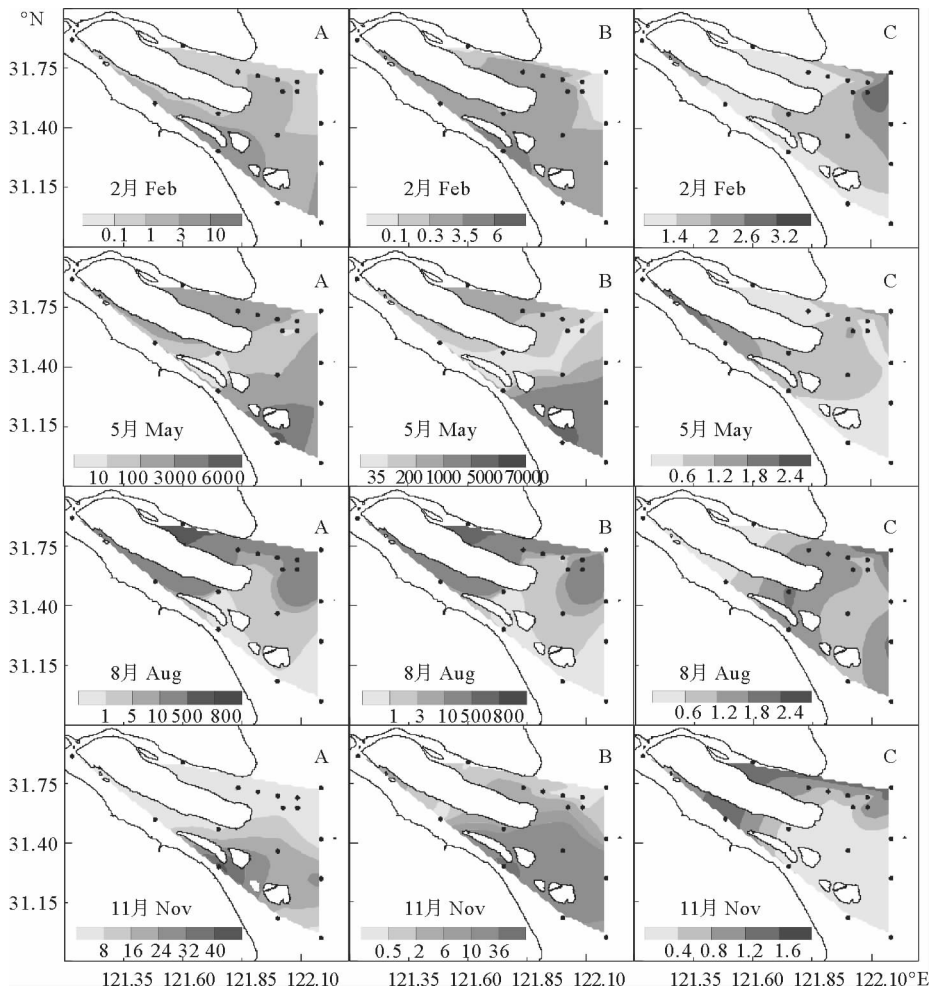


图4 涨潮表层浮游植物(A)、骨条藻(B)细胞丰度(ind/ml)及香农-威纳指数(C)分布

Fig. 4 Horizontal distributions of cell abundance, the Shannon-Wiener diversity index at high tide, 2012

表3 2012年调查水域浮游植物优势物种的优势度以及细胞丰度

Table 3 Dominance index (Y) and cell abundance of dominant species in survey area

| 优势物种 Dominant species | 2月 February | | 5月 May | | 8月 August | | 11月 November | |
|---|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|
| | 细胞丰度 Abundance (ind/ml) | 优势度 Y | 细胞丰度 Abundance (ind/ml) | 优势度 Y | 细胞丰度 Abundance (ind/ml) | 优势度 Y | 细胞丰度 Abundance (ind/ml) | 优势度 Y |
| 琼氏圆筛藻 <i>Coscinodiscus jonesianus</i> | 0.04 | 0.01 | 2.02 | <0.01 | 0.34 | 0.01 | 0.24 | 0.03 |
| 旋链角毛藻 <i>Chaetoceros curvisetus</i> | * | * | * | * | 2.29 | 0.02 | * | * |
| 尖刺伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia pungens</i> | <0.01 | <0.01 | 0.14 | <0.01 | 2.99 | 0.04 | <0.01 | <0.01 |
| 骨条藻 <i>Skeletonema</i> spp. | 0.91 | 0.30 | 534.26 | 0.86 | 30.3 | 0.6 | 6.95 | 0.84 |
| 铁氏束毛藻 <i>Trichodesmium thiebautii</i> | 0.94 | 0.23 | 0.04 | <0.01 | 0.02 | <0.01 | <0.01 | <0.01 |

* : 未检出, Not detected

3 讨论

3.1 浮游植物时空分布

在长江口特有的河床、地形以及海流、潮波、海浪、咸淡水渗混作用的影响下,河口潮汐环境复杂,口外为旋转流,口内为往复流,口门附近为过渡区域,而长江径流加强落潮流,导致长江口内落潮流速大于涨潮流速(中国海湾志编纂委员会 1992、1993、1998;薛鸿超等 1996;孙湘平 2006)。长江冲淡水随季节变化产生3条比较稳定的扩展路径(王凯敏等 2012),冬季顺岸南下,春季出口门直下东南或向东,夏季出口门转向东北(苏纪兰等 2005)。调查水域位于长江冲淡水射形流与水舌形态扩展阶段,同一航次浮游植物密集区受潮汐作用影响,在涨落潮延伸方向有迁移,但其季节变动则主要由冲淡水转向决定,浮游植物与骨条藻密集区在调查水域的季节分布与长江冲淡水扩展路径的季节差异吻合,骨条藻亦可作为冲淡水流向指示物种(图3、图4)。

3.2 与历史资料对比

2012年4个航次调查所获网采浮游植物的物种数和丰度与历史资料差距较大(表4),一方面可能由于调查水域离岸近,调查范围缩小,物种以温带近岸种为主,较少发现甲藻及高盐种;另一方面,则是由长江径流量的年变化,造成相邻水域浮游植物物种与丰度年际波动(何青等 2009)。长江口浮游植物淡水类群优势种单

表4 青草沙邻近水域网采浮游植物丰度与历史资料比较

Table 4 Comparison of phytoplankton cell abundance of net samples in the Qingcaosha Reservoir adjacent water

| 采样时间(年-月) Sampling time(Y-M) | 物种数 Species richness | 细胞丰度 Cell abundance(ind/ml) | 调查范围 Survey region | 参考文献 Reference |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| 2012-11 | 30 | 7.26 | 121°08' - 122° 11'E, 31° - 32°46' N | 本研究 This study |
| 2012-08 | 42 | 38.34 | | |
| 2012-05 | 40 | 548.09 | | |
| 2012-02 | 45 | 2.19 | | |
| 2006-11 | 109 | 0.22 | 121° - 123°E, 30°30' - 32°N | 何青等 2009 |
| 2006-08 | 130 | 20.30 | | |
| 2006-05 | 77 | 2.29 | | |
| 2006-02 | 84 | 0.48 | | |
| 2004-11 | 74 | 0.29 | 121° - 123°E, 30°45' - 32°N | 林峰竹等 2008 |
| 2004-08 | 88 | 16.10 | | |
| 2004-05 | 89 | 64.10 | | |
| 2004-02 | 54 | 0.05 | | |
| 2003-05 | 46 | 0.22 | 121° - 123°E, 30° - 32°N | 王云龙等 2005 |
| 2002-01 | 84 | 0.29 | 121° - 124°E, 29° - 32°N | 吴玉霖等 2004 |
| 2001-07 | 102 | 9.27 | 121° - 124°E, 28° - 32°N | |
| 2001-05 | 63 | 1.53 | 121° - 123°30'E, 30°30' - 32°30'N | |
| 2000-11 | 73 | 4.85 | | |
| 2000-05 | 33 | 0.11 | 121° - 123°E, 30°N - 32°N | 王云龙等 2005 |
| 1997-05 | 66 | 5.47 | 121°00' - 122°40'E, 31°00' - 31°50'N | 徐兆礼等 1999 |
| 1996-09 | | 19.37 | | |
| 1991-03 | 130 | 0.04 | 121°00' - 122°15'E, 31°10' - 31°55'N | 沈竑等 1995 |
| 1990-08 | | 0.35 | | |
| 1989-08 | - | 189.22 | 122°00' - 124°30'E, 30°40' - 31°50'N | 顾新根等 1995 |
| 1988-12 | - | 0.30 | 121°05' - 123°00'E, 30°50' - 31°50'N | |
| 1988-08 | - | 2.51 | 121°50' - 123°00'E, 30°50' - 31°50'N | |
| 1985-08 - 1986-10 | 160 | 30.00 | 121°10' - 124°00'E, 30°20' - 32°00'N | 郭玉洁等 1992 |

角盘星藻 *Pediastrum simplex* 在整个调查水域仅有零星分布,其丰度和优势度远小于骨条藻和颗粒直链藻 *Melosira granulata*,表明可能由于三峡大坝对长江径流的调节,导致原本位于长江口水域西部的淡水类群内迁,优势类群逐渐被河口半咸水类群取代(王金辉 2002)。

3.3 聚类分析

在聚类分析中属同一类群的站位,其浮游植物群集特征相似程度较高。如图5,冬季,4个类群大致与长江口“三级分汊、四口入海”的冲淡水分布格局相吻合,2月长江处于枯水期,径流量为全年最小,对河口区的影响较其他季节弱。春季,除涨潮时的7号站和落潮时的6号站,并未表现出明显差别类群。夏季,调查水域的浮游植物类群表现出了比较明显的长江冲淡水南北支差异,由于此时处于丰水期,而长江径流主要从南支下泄,位于南支的6、7、10、11四站位落潮时样品未检出长江口水域的常年优势物种骨条藻,反而四棘栅列藻 *Scenedesmus quadricauda* 和螺旋藻 *Spirulina* sp. 等淡水藻所占比例较高。秋季,不同类群聚类根据长江径流南北分支入海略有不同,11月为枯水期,类群间差异较夏季小。长江径流季节分配和冲淡水的路径分布,影响调查水域浮游植物类群的季节变动。

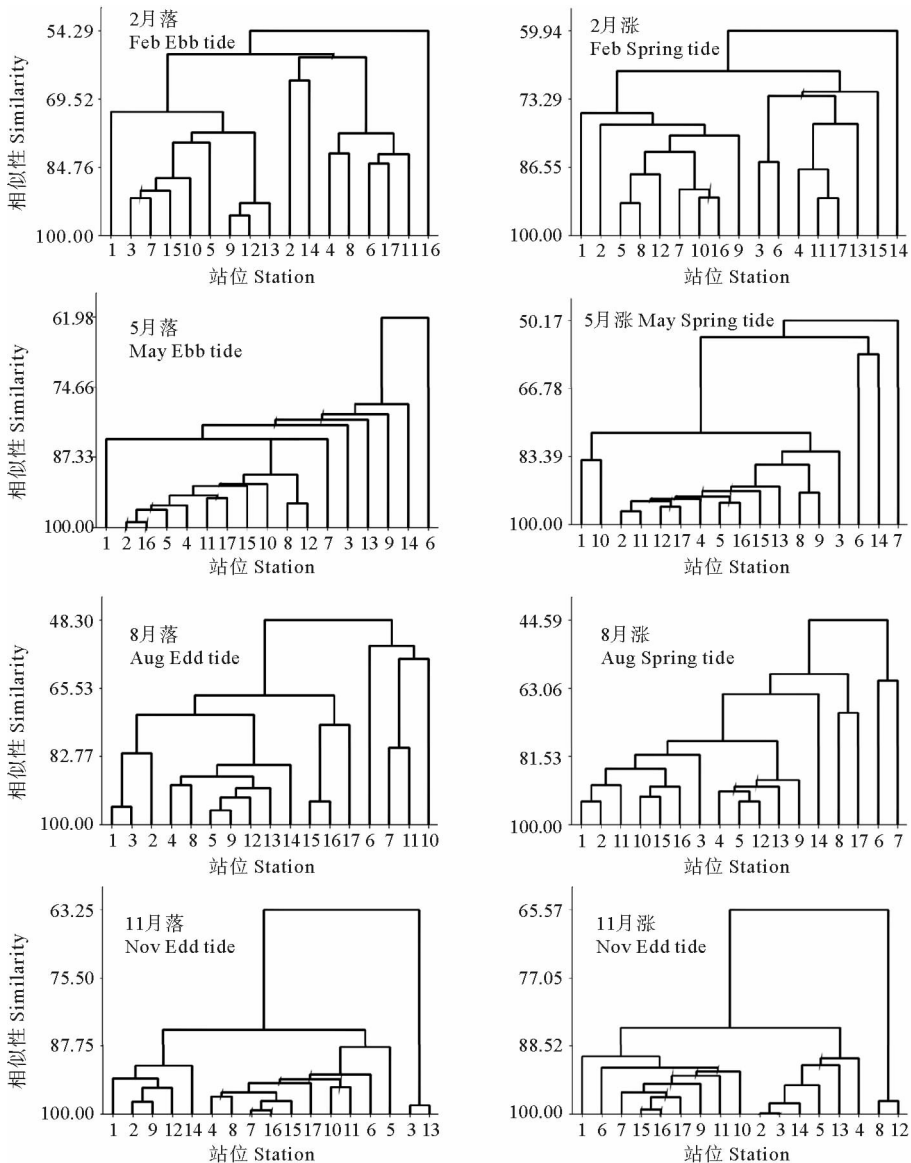


图5 2012年青草沙浮游植物聚类分析

Fig. 5 Cluster dendrograms of phytoplankton assemblage from Qingcaosha Reservoir adjacent water, 2012

3.4 典范对应分析

应用典范对应分析可以较好地解释特定时空范围内浮游植物与环境因子之间的联系,在排序图中位置相近的物种对环境的生态适应性较为接近。冬季,蛇目圆筛藻 *Coscinodiscus argus* 与叶绿素 *a* 相关性较骨条藻大,而骨条藻的优势度和丰度比小于其他季节,表明可能就单个细胞而言蛇目圆筛藻对叶绿素 *a* 贡献大于骨条藻。调查水域邻近长江口春季甲藻赤潮多发区,由甲藻引发的有害水华维持较高水平(2012年中国海洋环境质量公报 2013),但在本研究春季航次甲藻较少检出,可能受两方面影响,一方面网采样品容易遗漏掉个体小于 $76\ \mu\text{m}$ 的浮游植物,而长江口邻近水域常见的甲藻水华原因种个体多数都小于 $76\ \mu\text{m}$,长江口邻近水域同航次的网样和水样,优势物种和硅藻比例有明显差异(何青等 2009;赵冉 2009),另一方面甲藻分布受溶解氧和悬浮物影响,对透明度要求较高,近岸河口区悬浮物浓度高,不利于甲藻生长;春季骨条藻大量增殖,细胞丰度比由冬季的41%增至春季的97%,因此与营养盐浓度有较高相关性。很可能是由于长江口水域富营养化,不存在营养盐限制问题,因此夏季,磷酸盐、硅酸盐、温度、悬浮物成为影响不同种类硅藻分布差异的原因,表明了不同种类浮游植物对环境条件的生态需求。溶解氧、pH值、悬浮物、盐度是秋季影响浮游植物群落结构的主要原因(图6)。

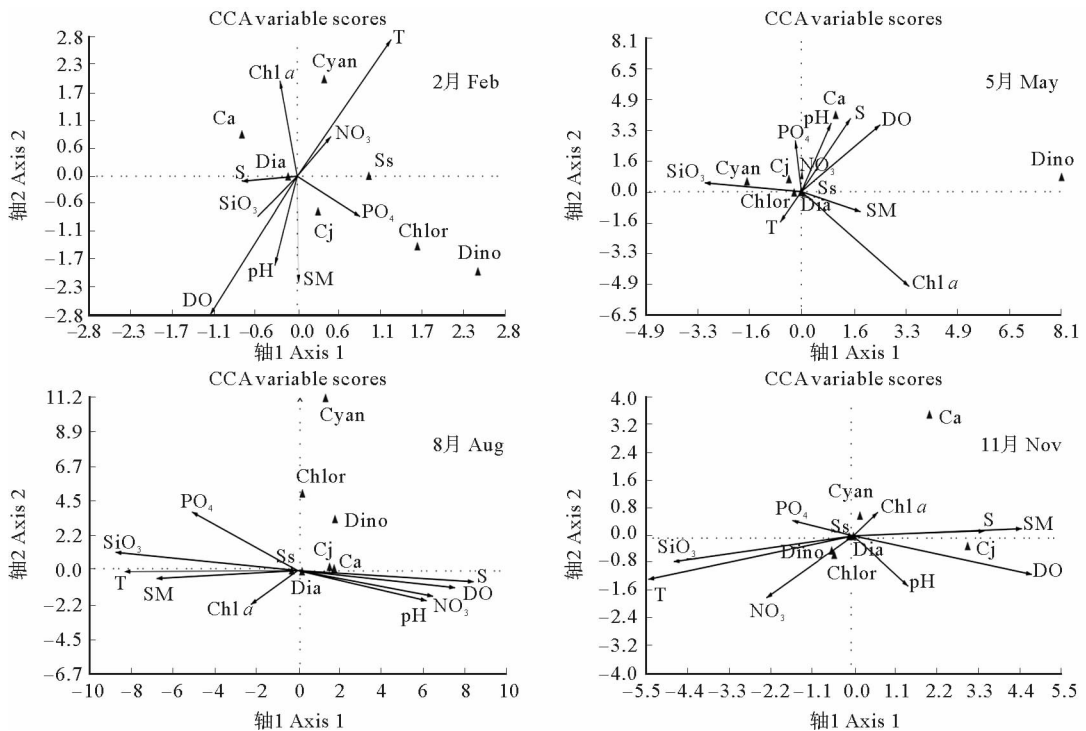


图6 浮游植物优势种与环境因子的典范对应分析

Fig. 6 Canonical correspondence analysis scatter bi-plot for environmental variables and phytoplankton dominant species

NO₃: 硝酸盐; PO₄: 磷酸盐; S: 盐度; SiO₃: 硅酸盐; SM: 悬浮物; T: 温度; Chl-*a*: 叶绿素 *a*; DO: 溶解氧; Ca: 蛇目圆筛藻; Cj: 琼氏圆筛藻; Ss: 骨条藻; Dia: 硅藻; Dino: 甲藻; Chlor: 蓝藻; Cyan: 绿藻

NH₄: Ammonia; NO₃: Nitrate; PO₄: Phosphate; S: Salinity; SiO₃: Silicate; SM: Suspended matter; T: Temperature; Pn: *Pseudonitzschia delicatissima*; Ps: *Paralia sulcata*; Sc: *Skeletonema* spp.; Tp: *Thalassiosira pacifica*; Tr: *Thalassiosira rotula*; Gs: *Gyrodinium spirale*; Km: *Karenia mikimotoi*; Pd: *Prorocentrum dentatum*; St: *Scrippsiella trochoidea*

由于长江河口区环境的复杂性、浮游植物群集的演替、采样时间及方法的差别,不同的调查研究分析,环境因子、优势物种以及群集结构等均有差异,分析结果较难呈现明显一致性。环境因子是长江口浮游植物群集的

驱动因素,其季节变动导致 CCA 分析结果产生季节变化,但对不同年份相同季节的分析结果存在相似性(栾青杉等 2008;林峰竹等 2008)。

参 考 文 献

- 上海勘测设计研究院. 2006. 青草沙水库及取输水泵闸工程环境影响报告书
- 王云龙, 袁骐, 沈新强. 2005. 长江口及其邻近水域春季浮游植物的生态特征. 中国水产科学, 12(3): 300-306
- 王凯敏, 熊学军, 郭炳火, 华峰, 江志辉. 2012. 2006-2007 年长江冲淡水的扩展形态及季节变化. 海岸工程, 31(1): 46-54
- 王金辉. 2002. 长江口水域三个不同生态系的浮游植物群落. 青岛海洋大学学报, 32(3): 422-428
- 车越, 杨凯, 吴婀娜, 袁雯. 2005. 上海城市水源战略与水源保护: 格局、问题与展望. 自然资源学报, 20(5): 651-659
- 中国标准出版社第二编辑室编. 2001. 中国环境保护标准汇编. 北京: 中国标准出版社
- 中国海湾志编纂委员会. 1992, 1993, 1998. 中国海湾志, 第 4, 5, 14 分册. 北京: 海洋出版社
- 庄平, 王幼槐, 李圣法. 2006. 长江口鱼类. 上海: 上海科学技术出版社
- 孙湘平. 2006. 中国近海区域海洋. 北京: 海洋出版社, 95-294
- 苏纪兰, 袁业立. 2005. 中国近海水文. 北京: 海洋出版社
- 吴玉霖, 傅月娜, 张永山, 蒲新明, 周成旭. 2004. 长江口海域浮游植物分布及其与径流的关系. 海洋与湖沼, 35(3): 246-251
- 沈新强, 史赞荣, 晁敏, 全为民, 黄厚见, 吴庆元. 2013. 长江口鱼类群落分类学多样性变动的分析. 渔业科学进展, 34(4): 1-7
- 何青, 孙军. 2009. 长江口及其邻近水域网采浮游植物群落. 生态学报, 29(7): 3928-3938
- 沈斌, 徐韧, 王桂兰. 1995. 上海市海岛周围水域浮游植物的调查研究. 海洋通报, 14(4): 26-37
- 张全, 顾玉亮, 林卫青, 乐勤. 2008. 青草沙水库环境关键技术研究. 上海建设科技, (2): 40-41
- 张宏伟, 吴健, 车越, 李巍, 童春富. 2009. 长江口青草沙水源地开发的生态环境影响. 华东师范大学学报, (3): 38-47
- 林峰竹, 吴玉霖, 于海成, 钱薇薇. 2008. 2004 年长江口浮游植物群落结构特征分析. 海洋与湖沼, 39(4): 401-410
- 国家技术监督局. 2007. GB/T 12763 海洋调查规范. 北京: 中国标准出版社
- 国家技术监督局. 2007. GB/T 17378 海洋监测规范. 北京: 中国标准出版社
- 赵冉. 2009. 三峡大坝截流前后长江口及其邻近水域浮游植物群落对比研究. 见: 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 1-96
- 顾玉亮, 乐勤, 金迪惠. 2008. 青草沙-上海百年战略水源地. 上海建设科技, (1): 66-69
- 顾新根, 袁骐, 杨蕉文, 华棣. 1995. 长江口羽状锋海区浮游植物的生态研究. 中国水产科学, 2(1): 1-15
- 徐兆礼, 白雪梅, 袁骐, 蒋玫, 顾新根. 1999. 长江口浮游植物生态研究. 中国水产科学, 6(5): 52-54
- 栾青杉, 孙军, 宋书群, 沈志良. 2008. 2004 年秋季长江口及其邻近水域浮游植物群落. 海洋科学进展, 26(3): 364-371
- 栾青杉. 2007. 长江口及其邻接水域浮游植物群落生态学研究. 见: 中国海洋大学硕士学位论文, 1-66
- 郭玉洁, 杨则禹. 1982. 1976 年夏季东海陆架区浮游植物生态的研究. 海洋科学集刊, 19: 11-32
- 郭玉洁, 杨则禹. 1992. 长江口区浮游植物的数量变动及生态分析. 海洋科学集刊, 39: 167-189
- 薛鸿超, 谢金赞主编. 1996. 中国海岸带水文. 北京: 海洋出版社
- Pielou EC. 1969. An introduction to mathematical ecology. New York: Wiley-Interscience, 294
- Shannon CE, Weaver W. 1949. The Mathematical Theory of Communication. Urbana IL: University of Illinois Press, 125