

2009 年夏季黄河口及其邻近水域 网采浮游植物的群落结构

刘晓彤¹, 刘光兴^{1,2*}

(1. 中国海洋大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266100; 2. 中国海洋大学 海洋环境与生态教育部重点实验室, 山东 青岛 266100)

摘要: 为了研究黄河调水调沙对黄河口及其邻近水域浮游植物群落的影响, 于 2009 年 7 月黄河第九次调水调沙后对黄河口及其邻近水域的浮游植物进行了调查。利用网采浮游植物样品研究了该水域浮游植物的种类组成、丰度分布、优势种以及生物多样性, 结果表明调查水域共鉴定出浮游植物 29 属 53 种, 隶属于硅藻门、甲藻门、蓝藻门、金藻门和绿藻门, 其中硅藻 43 种, 甲藻 6 种, 还有少数浮游植物属于蓝藻门、金藻门和绿藻门; 浮游植物细胞丰度为 $0.96 \times 10^4 \sim 76.32 \times 10^4$ 个/ m^3 , 平均丰度为 21.23×10^4 个/ m^3 ; 主要优势种类有念珠藻 (Nostocaceae)、八幅辐环藻 (*Actinocyclus octonarius*)、佛氏海线藻 (*Thalassionema frauenfeldii*) 和卡氏角毛藻 (*Chaetoceros castracanei*) 等; 调水调沙引起的黄河径流量的增加对黄河口及其邻近水域浮游植物群落结构的影响显著。该研究揭示了特定时期黄河口及其邻近水域浮游植物的群落结构, 并丰富了该水域浮游植物群落的基础资料, 为深入探讨河口环境变化对浮游植物群落的影响提供了重要依据。

关键词: 黄河口; 调水调沙; 浮游植物; 群落结构

中图分类号: Q178.53

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2012)01-0153-10

1 引言

黄河口位于渤海湾与莱州湾的交汇处, 是黄河进入渤海的通道。黄河作为世界主要大河中最混浊的河流, 长期存在着水沙不平衡的问题。自 2002 年以来黄河水利委员会定期对黄河进行调水调沙, 这就造成了黄河入海径流量的急剧变化, 必然会对黄河口及其邻近水域的环境造成影响, 特别是对盐度的影响显著^[1-3], 进而会对该水域生态系统结构和功能造成影响。

浮游植物作为海洋生态系统的基础环节, 其群落结构关系到整个生态系统的稳定性。对黄河口水

域浮游植物的研究, 在分析其群落结构的同时, 研究人员也较关注黄河径流量的变化及其引起的环境因子的变化对浮游植物群落的影响^[4-5], 但是前人所作的调查大多是在传统意义的丰枯水期进行的, 并没有专门针对黄河调水调沙对浮游植物群落的影响展开研究。本文利用 2009 年 7 月黄河第九次调水调沙事件后对黄河口及其附近水域浮游植物群落的调查所获得的浮游植物样品和鉴定分析数据, 结合同步水文资料, 分析了黄河调流调沙对该水域浮游植物的群落结构的影响, 以期深入探讨黄河调水调沙事件对浮游植物群落以及生态系统结构与功能的影响机制提供科学依据。

收稿日期: 2011-03-17; 修订日期: 2011-08-09。

基金项目: 国家自然科学基金(40876066)。

作者简介: 刘晓彤(1986—), 女, 山东省聊城市人, 硕士研究生, 从事浮游植物学研究。E-mail: Liuxiaotong2005@sina.com

* 通信作者: 刘光兴(1964—), 男, 教授, 博导, 从事生物海洋学领域有关浮游生物多样性和分子生态学等研究。E-mail: gxliu@ouc.edu.cn

2 材料与方法

2.1 调查站位

本次调查于 2009 年 7 月 18—19 日进行,调查区域位于 $37^{\circ}31' \sim 38^{\circ}07'N$, $118^{\circ}58' \sim 119^{\circ}33'E$,共设置 6 个断面 26 个调查站位,站位分布详见图 1。

2.2 调查取样与样品分析

浮游植物样品的采集、保存以及分析均严格

按照《海洋调查规范——海洋生物调查》(GB 12763.6—2007)进行。用浅水 III 型浮游生物网(网口内径 37 cm,筛绢孔径 0.077 mm)在每个调查站位自底至表垂直拖网采样,对所采样品立即用福尔马林溶液固定保存(终浓度为 5%)。在实验室内对浮游植物样品进行浓缩,用本实验室 0.1 mL 计数框于 Nikon YS100 生物显微镜下进行种类鉴定^[6-7]和计数,鉴定到种,对于无法确定到种的种类,则至少鉴定到科。

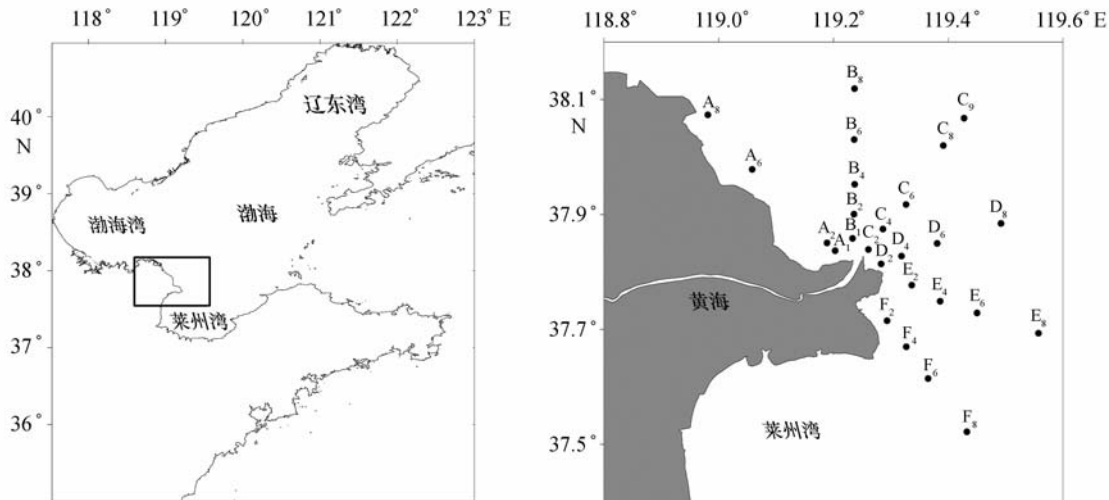


图 1 调查区域和站位

2.3 数据处理

浮游植物丰度,根据采集样品时的滤水量,以每立方米水体中的个体数(个/ m^3)表示。

应用优势度、丰富度指数、多样性指数、均匀度以及单纯度对浮游植物群落进行分析。分别按下列公式计算:

优势度(Y)^[8]为

$$Y = (n_i/N) f_i;$$

丰富度指数(D)采用 Margalef 指数^[9],

$$D = (S - 1)/\log_2 N;$$

多样性指数(H')采用 Shannon-Wiener 指数^[10],

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i;$$

均匀度(J)采用 Pielou 指数^[11],

$$J = H'/\log_2 S;$$

单纯度(C)为

$$C = \sum_{i=1}^S (P_i)^2.$$

上述各式中 n_i 为第 i 种的个体数; N 为所有种类总

个体数; f_i 为第 i 种在各样品中的出现频率; S 为各站种类数; P_i 为样品中的个体的比例,如样品总个体为 N ,第 i 种个体数为 n_i ,则 $P_i = n_i/N$ 。

取优势度大于 0.02 的种为优势种^[12]。

优势种的细胞碳含量参考孙军等^[13]发表的数据,对于未有细胞碳含量参考数据的优势种类,在显微镜下随机测量 5 个个体的相关参数,根据孙军^[14]的浮游植物细胞体积几何模型计算其体积并取平均值,采用 Eppley 等^[15]的公式估算细胞碳含量。

盐度、浮游植物细胞丰度及各多样性指数的平面分布采用 Surfer 8.0 软件绘制;采用 SPSS 11.5 中的 Correlate 程序进行浮游植物的丰度和多样性指数与盐度的相关性分析(Pearson)。

3 结果

3.1 调查区域盐度的分布特征

调查区域表层盐度(sea surface salinity, SSS)的最低值为 18.6,最高值为 31.3,平均值为 26.6;

底层盐度(sea bottom salinity, SBS)的最低值为 26.6,最高值为 31.2,平均值为 29.6。由图 2 可以

看出 SSS 和 SBS 均由近河口水域向东北方向逐渐升高,与 SSS 相比,SBS 的变化梯度较小。

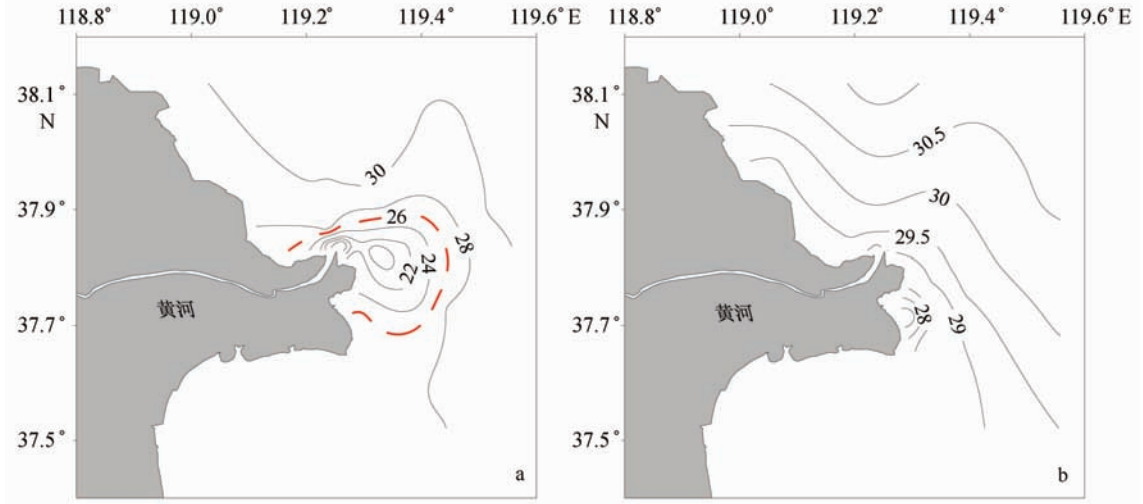


图 2 调查区域盐度的平面分布

a. 表层盐度,虚线内为冲淡水区域^[2]; b. 底层盐度

3.2 浮游植物种类组成

本次调查共鉴定出浮游植物 29 属 53 种(包括 13 个未定种,表 1),分别隶属于硅藻门、甲藻门、蓝藻门、金藻门和绿藻门,其中硅藻门的种数最多,共 20 属 43 种(包括 8 个未定种),占总种数的 81.1%;角毛藻属的种数最多,共 13 种,其次是圆筛藻属,共

8 种;出现频率较高的有八幅辐环藻(*Actinocyclus octonarius*)、细弱圆筛藻(*Coscinodiscus subtilis*)和虹彩圆筛藻(*Coscinodiscus oculus-iridis*)等。甲藻门 5 属 6 种(包括 2 个未定种),占 11.3%;最常见的是三角角藻,出现频率达 53.8%。蓝藻门 1 科、金藻门 1 种、绿藻门 2 属。

表 1 调查区域浮游植物的物种组成

中文名	拉丁文名	中文名	拉丁文名
硅藻门	Bacillariophyta	脆杆藻	<i>Frangilaria</i> spp.
八幅辐环藻	<i>Actinocyclus octonarius</i> Ehrenberg	泰晤士旋鞘藻	<i>Helicotheca tamesis</i> (Shrubsole) Ricard
冰河拟星杆藻	<i>Asterionellopsis glacialis</i> (Castracane) Round	丹麦细柱藻	<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve
透明辐杆藻	<i>Bacteriastrum hyalinum</i> var. <i>hyalinum</i> Lauder	舟形藻	<i>Navicula</i> spp.
大洋角管藻	<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Henedy	新月菱形藻	<i>Nitzschia closterium</i> (Ehrenberg) W. Smith
窄隙角毛藻	<i>Chaetoceros affinis</i> var. <i>affinis</i> Lauder	菱形藻	<i>Nitzschia</i> spp.
卡氏角毛藻	<i>Chaetoceros castracanei</i> Karsten	中华齿状藻	<i>Odontella sinensis</i> (Greville) Grunow
深环沟角毛藻	<i>Chaetoceros constrictus</i> Gran	具槽帕拉藻	<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve
旋链角毛藻	<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve	羽纹藻	<i>Pinnularia</i> spp.
柔弱角毛藻	<i>Chaetoceros debilis</i> Cleve	曲舟藻	<i>Pleurosigma</i> spp.
并基角毛藻	<i>Chaetoceros decipiens</i> f. <i>decipiens</i> Cleve	柔弱伪菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden et al
密连角毛藻	<i>Chaetoceros densus</i> Cleve	塔形冠盖藻	<i>Stephanopyxis turris</i> (Grev. et Arnott) Ralfs
远距角毛藻	<i>Chaetoceros distans</i> Cleve	针杆藻	<i>Synedra</i> spp.
劳氏角毛藻	<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow	佛氏海线藻	<i>Thalassionema frauenfeldii</i> (Grunow) Hallegraeff
日本角毛藻	<i>Chaetoceros nipponica</i> Ikari	菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grunow

续表 1

中文名	拉丁文名	中文名	拉丁文名
窄面角毛藻	<i>Chaetoceros paradoxus</i> Cleve	甲藻门	Pyrrophyta
拟旋链角毛藻	<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i> Mangin	梭角藻	<i>Ceratium fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin
暹罗角毛藻	<i>Chaetoceros siamense</i> Ostenfeld	三角角藻	<i>Ceratium tripos</i> (Müller) Nitzsch
角毛藻	<i>Chaetoceros</i> spp.	鳍藻	<i>Dinophysis</i> sp.
蛇目圆筛藻	<i>Coscinodiscus argus</i> Ehrenberg	夜光藻	<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Ehrenberg
星脐圆筛藻	<i>Coscinodiscus asteromphalus</i> Ehrenberg	原多甲藻	<i>Protoperidinium</i> sp.
格氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus granii</i> Grouh	斯氏扁甲藻	<i>Pyrophacus steinii</i> (Schiller) Wall et Dale
琼氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus jonesianus</i> (Greville) Ostenfeld	绿藻门	Chlorophyta
具边线形圆筛藻	<i>Coscinodiscus marginato-lineatus</i> A. Schmidt	盘星藻	<i>Pediastrum</i> sp.
虹彩圆筛藻	<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> Ehrenberg	栅藻	<i>Scenedesmus</i> sp.
辐射列圆筛藻	<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg	金藻门	Chrysophyta
细弱圆筛藻	<i>Coscinodiscus subtilis</i> Ehrenberg	小等刺硅鞭藻	<i>Dictyocha fobula</i> Ehrenberg
圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> spp.	蓝藻门	Cyanophyta
布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwelli</i> (West) Grunow	念珠藻科	Nostocaceae

3.3 浮游植物丰度

调查水域浮游植物总细胞丰度为 $0.96 \times 10^4 \sim 76.32 \times 10^4$ 个/ m^3 , 最小值在 B_1 站, 最大值在 C_4 站, 平均丰度为 21.23×10^4 个/ m^3 。由图 3 可以看出, 黄河入海口北部的近岸水域存在着一个明显的细胞丰度高值区; 在调查区域的西北部, 即 A 断面的丰度较小。硅藻的细胞丰度为 $0.35 \times 10^4 \sim 34.38 \times 10^4$ 个/ m^3 , 平均丰度为 8.69×10^4 个/ m^3 , 最小值在 B_1 站, 最大值在 F_4 站, 细胞丰度呈近岸高、远岸低的分布趋势。甲藻的细胞丰度为 $0 \sim 9.42 \times 10^4$ 个/ m^3 , 平均丰度为 1.27×10^4 个/ m^3 , 最大值在 D_8 站, 细胞丰度由近河口水域向东北方向逐渐增大。

3.4 浮游植物优势种

调查水域浮游植物的优势种类共 7 个, 隶属于硅藻门、甲藻门和蓝藻门。念珠藻科的优势度最高, 其次为八幅辐环藻, 透明辐杆藻的优势度最低(见表 2)。

3.4.1 丰度分布

由图 4 可以看出, 念珠藻集中分布在河口北部近岸水域, 高丰度区域基本与浮游植物总丰度的高值中心重合, 最高丰度值 (67.18×10^4 个/ m^3) 出现在 C_4 站, 这也是总丰度最高的站位。八幅辐环藻集中分布在河口近岸水域, D_2 站的丰度最高, 为 7.65×10^4 个/ m^3 。佛氏海线藻主要分布在调查区域的 D 断面和 F 断面的近岸站位, 细胞丰度最大值为 3.53×10^4 个/ m^3 , 位于 D_2 站, 在远岸水域以及 B

断面的细胞丰度均较小。卡氏角毛藻细胞丰度最大值为 4.83×10^4 个/ m^3 , 出现在 A_1 站, 其次为 D_2 站, 丰度为 3.73×10^4 个/ m^3 , 在 B, C 以及 E 断面的丰度值均较小。三角角藻细胞丰度的分布趋势较明显, 主要分布于 C, D 和 E 这三个相邻的断面, D_8 站的丰度最大, 为 9.42×10^4 个/ m^3 , 细胞丰度沿近岸向远岸的方向逐渐增大。细弱圆筛藻主要分布于河口北部的近岸站位以及南部的 F 断面, 最高丰度位于 C_4 站, 为 1.56×10^4 个/ m^3 。透明辐杆藻主要分布在远离河口的水域, 最大丰度 4.59×10^4 个/ m^3 出现在 D_6 站, 细胞丰度由近河口水域向东北方向逐渐增大。

3.4.2 碳生物量分布

调查水域各优势种的细胞碳含量及碳生物量的平均值见表 3, 优势种总碳生物量的平面分布见图 5。

优势种的总碳生物量为 $6.24 \sim 705.91 \mu\text{g} / m^3$, 最小值位于 B_4 站, 最大值位于 D_2 站, 平均值为 $143.30 \mu\text{g} / m^3$ 。由表 3 得出八幅辐环藻的碳生物量平均值最高, 其次为细弱圆筛藻, 念珠藻的最低。由图 5 可以看出, 优势种碳生物量的高值区位于近河口水域, 与八幅辐环藻的丰度高值区基本重合。

3.5 浮游植物群落物种多样性

调查区域浮游植物群落的丰富度指数为 $0.25 \sim 1.38$, 平均值为 0.81 , 最小值位于 A_8 站, 最大值位

于 C_6 站。多样性指数为 $0.64 \sim 3.69$, 最小值仍然位于 A_8 站, 最大值位于 F_6 站, 平均值为 2.20 。均匀度指数平均值为 0.59 , 最小值 0.21 出现在 C_4 站, 最大值 0.88 出现在 A_6 站。单纯度指数为 $0.10 \sim 0.82$,

平均值为 0.39 , 最大值和最小值分别位于 A_8 站和 F_6 站。由图 6 可以看出, D, H', J 和 C 的分布趋势基本一致, 即由西北向东南方向逐渐增大, 而且在近河口水域数值较小。

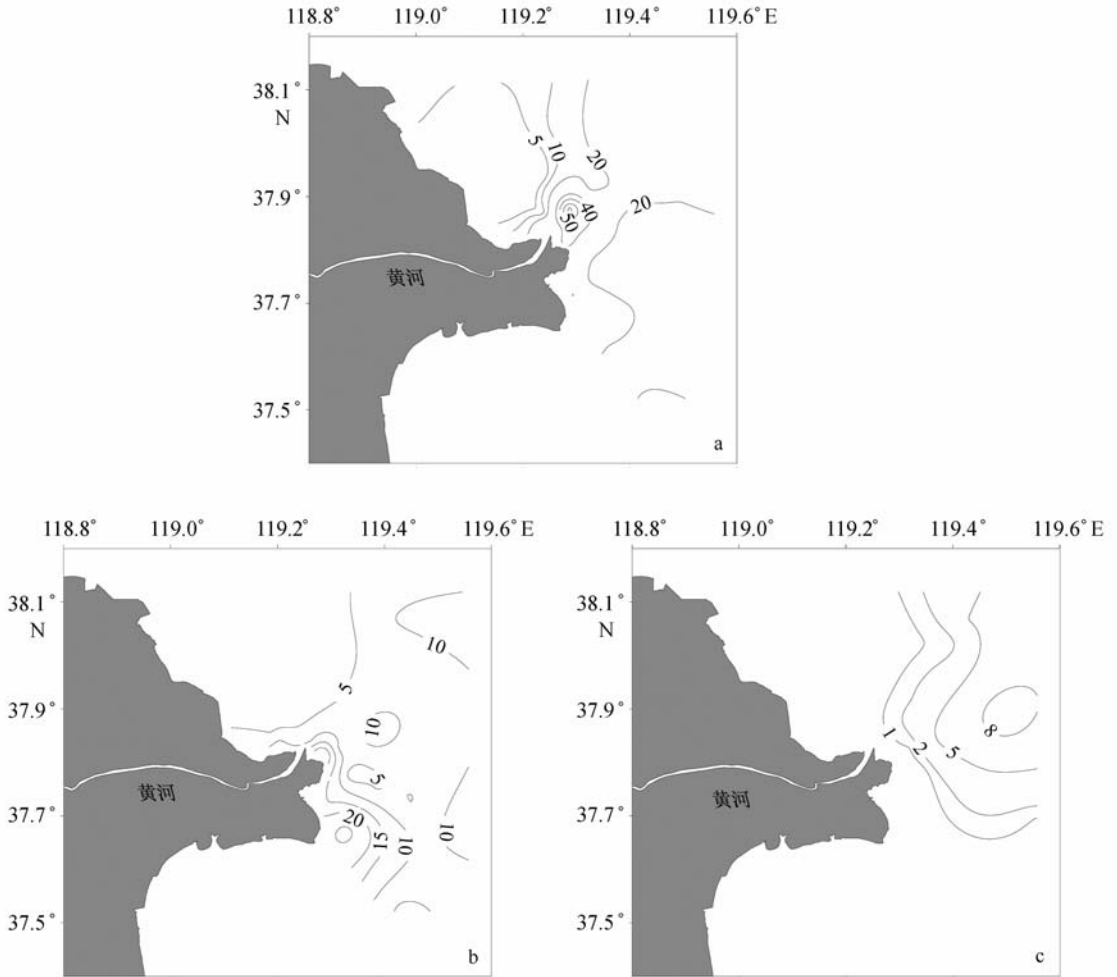


图 3 浮游植物细胞丰度(10^4 个/ m^3)的平面分布

a. 总丰度, b. 硅藻, c. 甲藻

表 2 调查区域浮游植物优势种

优势种	Y
念珠藻门	0.500
八辐辐环藻	0.038
佛氏海线藻	0.037
卡氏角毛藻	0.036
三角角藻	0.032
细弱圆筛藻	0.024
透明辐杆藻	0.022

表 3 调查区域浮游植物优势种的碳生物量

优势种	细胞碳含量/ pg	碳生物量平均值/ $\mu g \cdot m^{-3}$
念珠藻门	1.810 0	0.20
八辐辐环藻	7 946.100 0	666.64
佛氏海线藻	343.368 7	3.51
卡氏角毛藻	448.244 1	4.04
三角角藻	1 731.040 0	21.66
细弱圆筛藻	8 238.730 0	43.60
透明辐杆藻	504.245 5	3.64

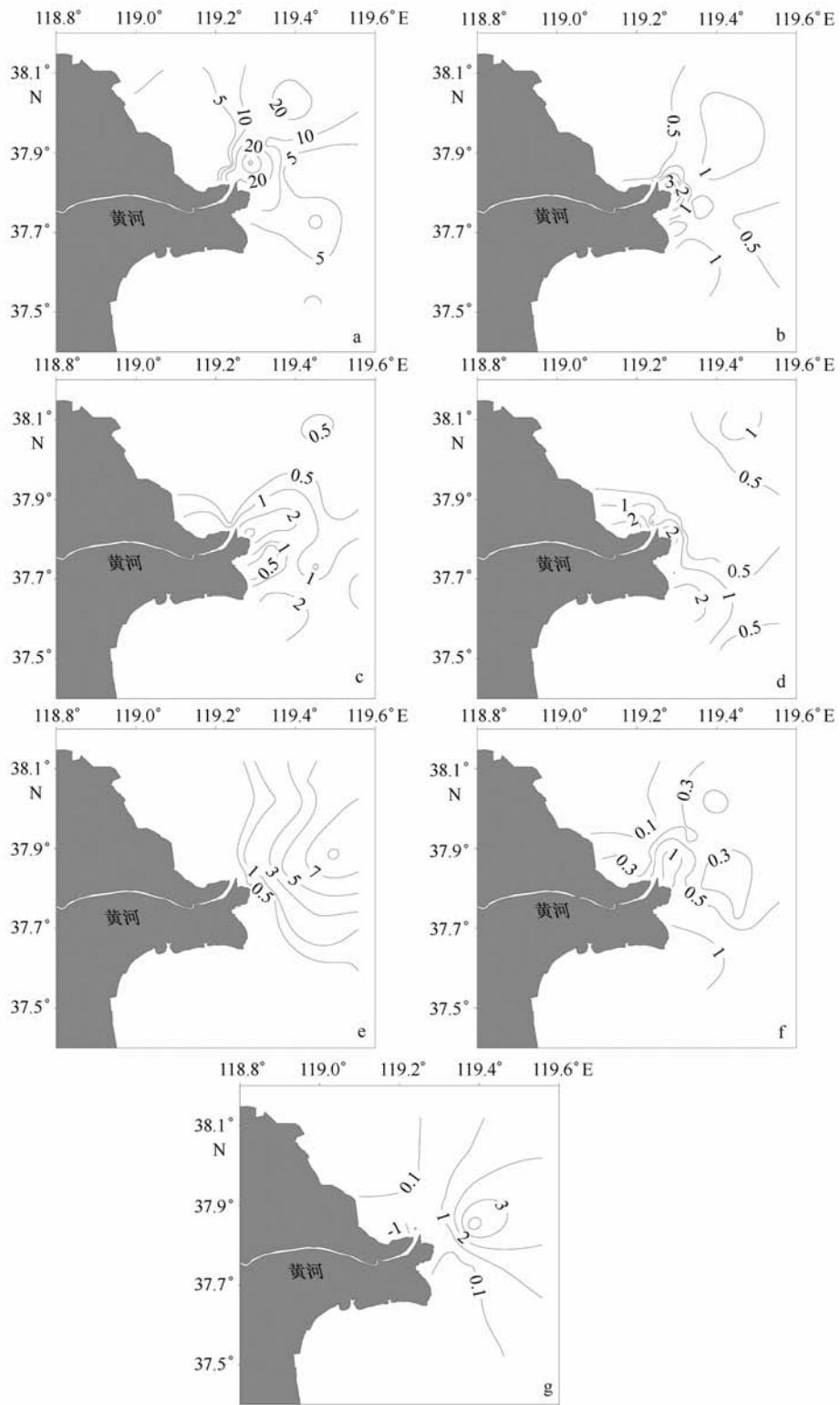


图 4 浮游植物优势种细胞丰度(10^4 个/ m^3)的平面分布

- a. 念珠藻科, b. 八幅辐环藻, c. 佛氏海线藻, d. 卡氏角毛藻,
e. 三角角藻, f. 细弱圆筛藻, g. 透明辐杆藻

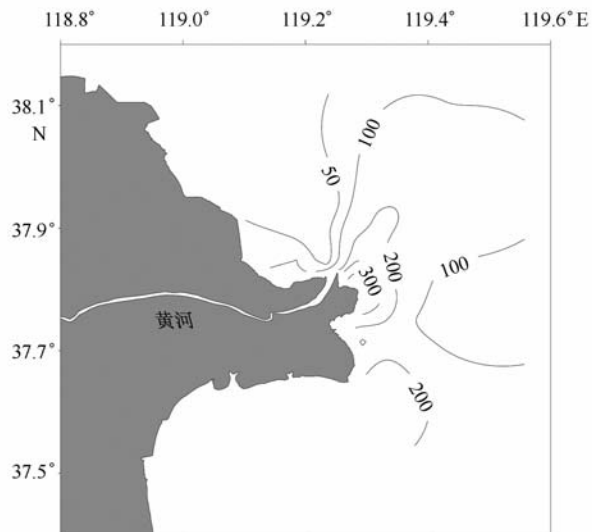


图5 浮游植物优势种碳生物量 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 的平面分布

3.6 相关性分析

由表4得出浮游植物总细胞丰度、多样性指数和单纯度指数与表底层盐度均呈负相关;念珠藻细胞丰度和丰富度指数与表层盐度呈负相关,而与底层盐度呈正相关;均匀度指数与表层盐度呈正相关,而与底层盐度呈显著负相关。

4 讨论

4.1 浮游植物种类组成和丰度分布

由于受冲淡水的影响,在黄河口^[4,16]以及长江口^[17-18]等河口水域浮游植物群落中常有淡水藻。同样地,本次调查中也出现了淡水藻类,如念珠藻、栅藻和盘星藻,此外还有适应在低盐环境中生长的种类,如八幅辐环藻。

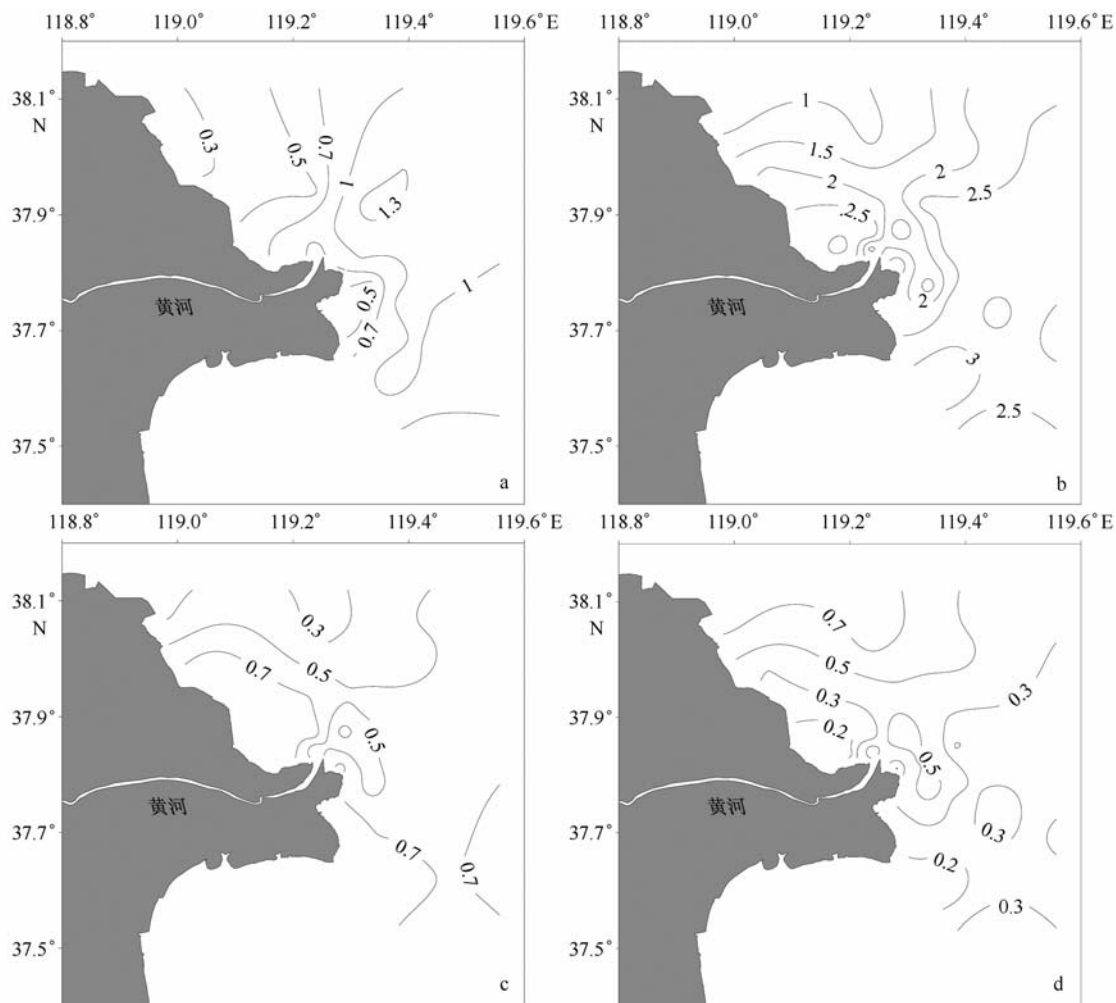


图6 浮游植物群落结构指数的平面分布

a. 丰富度指数 D , b. 多样性指数 H' , c. 均匀度指数 J , d. 单纯度指数 C

表 4 浮游植物丰度和多样性指数与盐度的相关性

	总丰度	念珠藻丰度	D	H'	J	C
SSS	-0.380	-0.296	-0.010	-0.037	0.037	-0.020
SBS	-0.180	0.035	0.252	-0.293	-0.446 ¹⁾	-0.354

注:1) $P < 0.05$ 。

本研究中硅藻占总种数的比例为 81.1%，硅藻和甲藻占总细胞丰度的比例分别为 40.9% 和 6.0%。因此，从种类组成和细胞丰度的大小来看，硅藻在调查区域的浮游植物群落中处于主导地位，这与以往报道是一致的^[4,16,19]。此外，硅藻和甲藻的空间分布存在较大差异，即硅藻集中分布在近岸水域，而甲藻在远岸的东部水域丰度较高(见图 3)。这主要是因为硅藻能适应弱光高营养盐的环境，而甲藻则能耐受强光低营养盐的环境。通常地，受黄河入海径流的影响，近河口水域的营养盐丰富但透明度较差，远离河口的水域则相反^[20-23]，硅藻和甲藻分布的空间差异正是对水域环境条件差异的

响应。

与以往黄河夏季的调查结果^[19]相比，本次调查的浮游植物总细胞丰度低了 1~2 个数量级。一般来说，浮游植物的生长不仅与营养盐和光照等条件密切相关，而且还受到环境稳定性的影响。对近河口水域来说，径流的扰动既会影响浮游植物利用营养盐的时间^[24]，也不利于浮游植物的大量聚集^[25]。本次调查期间黄河的径流量为 478 m³/s，虽然低于调水调沙期间的流量(3 600 m³/s)，但是仍远高于调水调沙前的流量(173 m³/s)^[2]，因此调水调沙所造成的低透明度^[23]和对水体较大的扰动可能是浮游植物细胞丰度较低的原因。

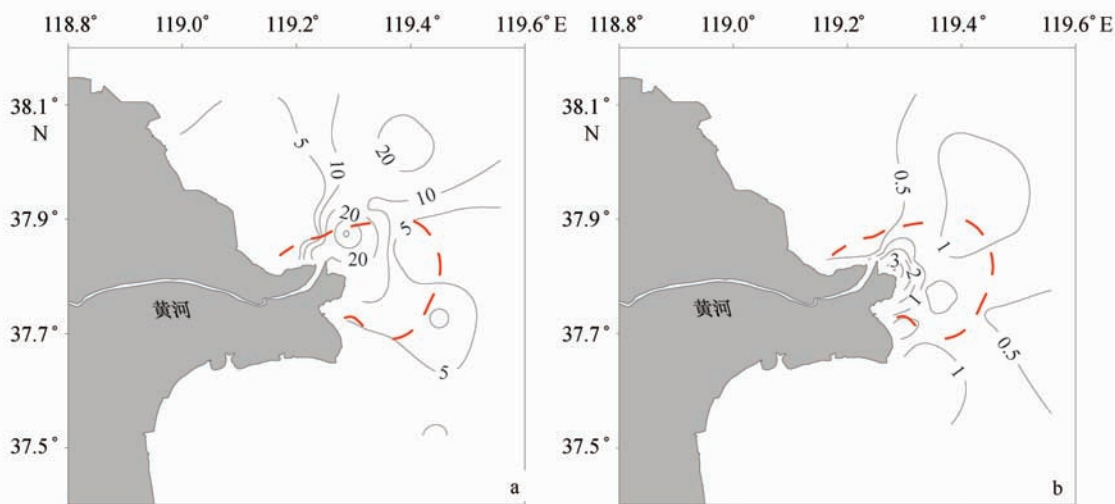


图 7 念珠藻和八辐辐环藻丰度的平面分布与冲淡水区域叠加的示意图(虚线内为冲淡水区域)

a. 念珠藻, b. 八辐辐环藻

4.2 浮游植物优势种

有关研究^[4,17,19,26]显示，在河口及其他河口水域浮游植物群落中，虽然常有淡水藻类，但是未出现过淡水藻成为优势种的情况。在本研究中以群体形式存在的淡水蓝藻——念珠藻——大量出现，并成为优势度最高的浮游植物种类，这种现象的出现应该是由较大流量的黄河径流造成的。调查期间黄河较高的径流形成了最大离岸距离为 15 km 的冲

淡水区域(SSS 小于 26)^[2]。由图 7 可以看出，念珠藻集中分布在近河口水域，丰度高值中心基本位于冲淡水区域内，同时结合念珠藻丰度和盐度的相关性分析结果可知，大量的淡水蓝藻应该是由调水调沙后较大流量的冲淡水带入调查水域的。另外，能适应低盐环境的八辐辐环藻在河口的冲淡水区集中分布并成为优势种(见图 7)。据记载，八辐辐环藻曾在 4-5 月份占到浮游植物总丰度的 90%，形成

突出的硅藻种群^[6]。同样,该种也是本次调查中优势度较高的种群,虽然占总细胞丰度的比例不高(仅为8.2%),但其出现频率较高(达96.2%),因此形成了较高的优势度。与八幅辐环藻相比,同样能在低盐环境中生长的中肋骨条藻也常成为汛期(8月)黄河口水域浮游植物群落的优势种^[15]。在长江口和珠江口^[27-28]水域也常出现低盐种占优势的情况,特别在长江口及邻近水域,中肋骨条藻常成为优势种并主导着浮游植物的平面分布格局^[17-18,29-30]。综合以上分析可以得出黄河调水调沙对调查水域浮游植物群落的种类组成影响显著,即淡水蓝藻和能适应低盐环境的种类占据了优势地位。

从优势种碳生物量的计算结果来看,由于念珠藻的细胞很小,细胞碳含量很低,所以其虽然在丰度上占绝对优势,但是碳生物量在所有优势种中是最低的。相对于念珠藻,个体较大的八幅辐环藻、细弱圆筛藻和三角角藻在碳生物量上更占优势。另外,没有被确定为优势种的虹彩圆筛藻($Y=0.011$)和中华齿状藻($Y=0.010$)的细胞碳含量都较高^[13],因此它们也有可能成为在碳生物量上占优势的种。从以上分析可知,仅通过计算优势度来判断浮游植物在生态系统中的地位是不全面的,会高估小细胞浮游植物和低估大细胞浮游植物在生态系统中的作

用^[14],所以我们还需要从碳生物量的角度进一步研究和探讨调查水域浮游植物群落中在碳生物量分布上起关键作用的种类。另外,浮游植物的粒径大小会影响浮游动物的摄食^[31-32],并将进一步影响生态系统的营养结构^[31]。与以往调查所确定的优势种类^[4,19]相比,在本次调查中占绝对优势的念珠藻的粒径要小得多,因此这会在一定程度上影响调查水域生态系统的营养结构,进而影响其物质的循环和能量的流动。

本文对调水调沙事件后黄河口及其邻近水域的浮游植物群落结构进行了分析,探讨了调水调沙引起的黄河径流量的增加对该水域浮游植物群落结构的影响,为深入揭示河口环境变化对浮游植物群落的影响提供了重要参考。若要全面了解该事件对该水域浮游植物群落的影响,仍需进一步研究调水调沙前和调水调沙期间的浮游植物群落,并结合同步调查的水文和化学等要素进行深入分析。

致谢:感谢中国海洋大学钱树本教授和中国科学院海洋研究所孙军研究员在蓝藻种类鉴定方面给予的指导,徐东晖、黄有松、姜强和王文杰等同学协助采集样品,在此一并致谢!

参考文献:

- [1] MAO X Y, JIANG W S, ZHAO P, et al. A 3-D numerical study of salinity variations in the Bohai Sea during the recent years[J]. *Continental Shelf Research*, 2008, 28(19): 2689-2699.
- [2] WANG Y C, LIU Z, GAO H W, et al. Response of salinity distribution around the Yellow River mouth to abrupt changes in river discharge[J]. *Continental Shelf Research*, 2011, 31(6): 685-694.
- [3] 赵鹏,江文胜,毛新燕,等. 2000-2005年莱州湾盐度的变化及其主要影响因素[J]. *海洋与湖沼*, 2010, 41(1): 12-23.
- [4] 田家怡. 黄河三角洲附近海域浮游植物多样性[J]. *海洋环境科学*, 2000, 19(2): 38-42.
- [5] 马媛. 黄河入海径流量变化对河口及邻近海域生态环境影响研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2006.
- [6] 郭玉洁,钱树本. 中国海藻志[M], 第5卷. 北京:科学出版社, 2003.
- [7] 杨世民,董树刚. 中国海域常见浮游硅藻图谱[M]. 青岛:中国海洋大学出版社, 2006.
- [8] 孙儒泳. 动物生态学原理[M], 第2版. 北京:北京师范大学出版社, 1992: 356-357.
- [9] MARGALEF R. Information theory in ecology[J]. *Gen Syst*, 1958, 3(1): 36-71.
- [10] SHANNON C E, WEAVER W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana IL: University of Illinois Press, 1949: 125.
- [11] PIELOU E C. An Introduction to Mathematical Ecology[M]. New York: Wiley Interscience, 1969: 286.
- [12] 徐兆礼,陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈珍渔场的关系[J]. *生态学杂志*, 1989, 8(4): 13-15.
- [13] 孙军,刘东艳,钱树本. 浮游植物生物量研究: I. 浮游植物生物量细胞体积转化法[J]. *海洋学报*, 1999, 21(2): 75-85.
- [14] 孙军. 海洋浮游植物细胞体积和表面积模型及其转换生物量[D]. 青岛:中国海洋大学, 2004.
- [15] EPPLEY R W, REID F M H, STRICKLAND J D H. The ecology of the plankton off La Jolla, California, in the period April through September, 1967: Part III. Estimates of phytoplankton crop size, growth rate and primary production[J]. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*, 1970, 17: 33-42.
- [16] 山东省科学技术委员会. 山东省海岸带和海涂资源综合调查报告集[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1990: 292-297.

- [17] 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[J]. 海洋与湖沼, 2004, 35(3): 246—251.
- [18] 赵冉,孙军,白洁. 2006 年秋季长江口及其邻近水域浮游植物群集[J]. 海洋科学, 2010, 34(4): 32—39.
- [19] 张继民,刘霜,张琦,等. 黄河口附近海域浮游植物种群变化[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(6): 834—837.
- [20] 张欣泉,邓春梅,魏伟,等. 黄河口及邻近海域溶解态无机磷、有机磷、总磷的分布研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(4): 660—666.
- [21] 张继民,刘霜,张琦,等. 黄河口附近海域营养盐特征及富营养化程度评价[J]. 海洋通报, 2008, 27(5): 65—72.
- [22] 李泽刚. 黄河口附近海区水文要素基本特征[J]. 黄渤海海洋, 2000, 18(3): 1—6.
- [23] 毕乃双,杨作升,王厚杰,等. 黄河调水调沙期间黄河入海水沙的扩散与通量[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(2): 27—34.
- [24] QIU D J, HUANG L M, ZHANG J L, et al. Phytoplankton dynamics in and near the highly eutrophic Pearl River Estuary, South China Sea[J]. Continental Shelf Research, 2010, 30: 177—186.
- [25] YIN K D, ZHANG J L, QIAN P Y, et al. Effect of wind events on phytoplankton blooms in the Peal River estuary during summer[J]. Continental Shelf Research, 2004, 24: 1909—1923.
- [26] 李开枝,黄良民,张建林,等. 珠江河口咸潮期间浮游植物的群落特征[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(1): 62—68.
- [27] HUANG L M, JIAN W J, SONG X Y, et al. Species diversity and distribution for phytoplankton of the Pearl River estuary during rainy and dry seasons[J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 49(7-8): 588—596.
- [28] 刘凯然. 珠江口浮游植物生物多样性变化趋势[D]. 大连:大连海事大学, 2008.
- [29] GAO X L, SONG J M. Phytoplankton distributions and their relationship with the environment in the Changjiang Estuary, China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2005, 50(3): 327—335.
- [30] 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[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(2): 169—172.
- [31] 孙军,刘东艳,王宗灵,等. 春季赤潮频发期东海微型浮游动物摄食研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1073—1080.
- [32] 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.

Net-phytoplankton community structure of the Huanghe Estuary and its adjacent area in the summer of 2009

LIU Xiaotong¹, LIU Guangxing^{1,2}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Key Laboratory of Ministry of Education for Marine Environment and Ecology, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Investigation was carried out in July 2009 in Huanghe Estuary in China and its adjacent area after the ninth water regulation in order to study the influence of the event on phytoplankton community structure in this area. The species composition, abundance, dominant species and community diversity of net-phytoplankton were studied. A total of 53 phytoplankton species were identified. The Bacillariophyta accounted for 81.1% with 44 species and the Pyrrophyta accounted for 11.3% with 6 species. Besides, there were also Cyanophyta, Chrysophyta and Chlorophyta. The total abundance of phytoplankton was 0.96×10^4 — 76.32×10^4 cells/m³ and the mean value was 21.23×10^4 cells/m³. The main dominant species were Nostocaceae, *Actinocyclus octonarius*, *Thalassionema frauenfeldii* and *Chaetoceros castracanei*. The increased runoff of the Huanghe River caused by the water regulation had significant impacts on the phytoplankton community structure. The phytoplankton community structure of specific period is revealed, the basic information of phytoplankton community is enriched and important references are provided for further research about the influences of environmental changes on the phytoplankton community in the Huanghe Estuary and its adjacent area.

Key words: Huanghe Estuary in China; water regulation; phytoplankton; community structure