

鸭绿江口浮游植物群落特征及与环境因子的关系

张晓举¹, 温若冰², 于海洋³

(1. 国家海洋局 北海海洋工程勘察研究院, 山东 青岛 266033; 2. 国家海洋局 北海环境监测中心, 山东 青岛 266033; 3. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 于 2009 年 3 月对鸭绿江河口进行了 10 个站的浮游植物生态调查, 分析了该海域浮游植物的种类组成、优势种类、群落结构以及水平分布等特征参数。本次调查共鉴定浮游植物 48 种, 其中硅藻种类最多, 达 41 种, 甲藻其次, 为 6 种, 金藻 1 种。浮游植物可划分为广温类群、暖水类群和暖温类群 3 个生态类群, 以广温类群为主。浮游植物细胞数量平均 4.67×10^8 个/ m^3 , 细胞数量自河口向外海逐渐降低。其中, 中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)占据绝对优势。浮游植物群落优势种单一且优势度较大, 群落结构相对简单。相关性分析表明温度和盐度是浮游植物细胞数量的主要限制性因子。浮游植物数量受鸭绿江径流的影响较大。

关键词: 鸭绿江口; 浮游植物; 种类多样性; 温度; 盐度

中图分类号: S917.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2012)11-0019-05

河口是受河流冲淡水 and 海洋潮汐、波浪、海流等交互影响的一个区域, 是一个特殊的生态系统。鸭绿江发源于长白山天池胭脂峰南麓, 由东北流向西南, 跨越吉林、辽宁两省, 全长 859 km, 流域面积 64471 km², 多年平均径流量 228.09 亿 m³, 是我国四大水系之一。入海口是一个湾顶位于浪头镇附近的喇叭状河口湾。鸭绿江河口地区主要有 3 条入海通道, 绸缎岛和薪岛以西为西水道, 绸缎岛和薪岛以东又可分为中水道和东水道, 20 世纪因人为因素西水道经历重大变迁, 上中段严重淤高缩窄, 已由历史上的主要出海水道和主航道演变成海湾型潮汐水道。东水道上口淤塞, 流域来沙不足, 沿岸潮滩不断遭受侵蚀, 因此中水道是目前主要的水流通道路^[1]。近几十年来, 许多学者对鸭绿江口的水质、沉积物环境展开了一系列理化调查^[2-4]。但是理化监测只能测出污染物浓度, 无法测出毒性强度, 毒性强弱只能通过水生生物监测的方法获得。同时, 理化监测只能得到瞬时水质情况, 而一定时期水质情况只能由水生生物监测完成。通过对河口浮游植物种类组成、时空分布、生物量及多样性等生态学特征分析, 并结合有关化学指标, 可更客观反映河口水环境状况, 为河口水环境保护提供有效的管理信息^[5]。近年来关于鸭绿江口浮游植物群落的研究较少, 作者通过 2010 年春季调查资料, 对鸭绿江口海域的浮游植物种类

组成、数量分布等生态学特征以及其与环境因子的响应关系进行了分析, 以探讨影响浮游植物种类组成、数量分布等生态特征的因素, 同时为研究该水域浮游植物的长期演变提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 调查站位与样品采集

于 2010 年 3 月进行鸭绿江口海上调查工作, 沿鸭绿江径流方向设置 3 条断面(图 1), 1~3 号站位水深为 1.6~3.5 m, 4~6 号站水深为 4.2~6.3 m, 7~10 号站水深为 7.5~9.4 m。

浮游植物取样按照《海洋调查规范》^[6]进行, 采用浅水 III 型浮游植物网, 于各站自水体底层至表层垂直拖取样品用 5% 福尔马林溶液固定保存, 在 Nikon-TE2000U 倒置显微镜下鉴定和计数。

1.2 分析方法

$$\text{优势度: } Y = (n_i/N) \times f_i$$

Shannon - Wiener 多样性指数 H' :

收稿日期: 2012-04-06; 修回日期: 2012-07-22

基金项目: 国家 863 计划船载海洋生态环境监测技术系统(2007AA092101)

作者简介: 张晓举(1982-), 男, 山东威海人, 工程师, 研究生, 研究方向: 海洋生态, 电话: 13553074532, E-mail: zhangxj_space@163.com

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

均匀度: $J = H'/\log_2 S$

丰度:

$$d = \frac{S-1}{\log_2 N}$$

式中, n_i 为第 i 种的细胞个数; $P_i = n_i/N$, N 为采集样品种的所有种类总个体数; S 为采集样品种的种类总数; f_i 为该种在各站中出现的频率。

用同步观测到的水温、盐度、DO 及营养盐浓度等数据, 分析浮游植物细胞丰度与环境因子的相关性。取表层温度(T)、盐度(S)、溶解氧(DO)、磷营养盐浓度(PO_4-P)、无机氮等为自变量, 分别以浮游植物细胞丰度和种类数为因变量, 应用 SPSS17.0 统计软件进行 Spearman 相关性分析。

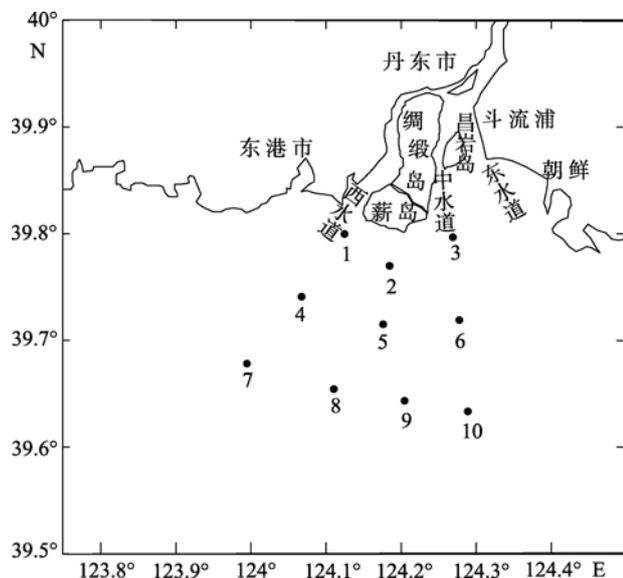


图1 鸭绿江口浮游植物调查站位分布
Fig. 1 Sampling stations in the Yalujiang estuary

2 结果与讨论

2.1 种类组成与优势种

本次调查鉴定出浮游植物 48 种(表 1), 其中硅藻 19 属 41 种, 占浮游植物总种数的 85.42%; 甲藻 4 属 6 种, 占总种数的 12.50%; 金藻 1 属 1 种, 占总种数的 2.08%。表明在浮游植物的种类组成中, 硅藻占绝对优势, 甲藻次之, 金藻最少。在细胞数量方面, 硅藻也是最多, 占全部细胞总量的 99.7%, 甲藻占全部细胞总数的 0.2%, 金藻仅占细胞总数的 0.1%。

硅藻门中以角毛藻属种类最多, 多达 13 种, 常见的种类有尖刺菱形藻 (*Nitzschia pungens*)、刚毛根管藻(*Rhizosolenia setigera*)、窄隙角毛藻(*Chaetoceros affinis*)、浮动弯角藻(*Eucampia zoodiacus*)。

根据浮游植物的生态习性和分布特点将鸭绿江河口海域浮游植物分为 3 个类群: (1) 广温类群: 是该海域最主要的生态类群。主要代表种有中肋骨条藻 (*keletonema costatum*)、浮动弯角藻、细弱海毛藻 (*Chaetoceros urvisetus*) 和翼根管藻 (*Rhizosolenia alata*) 等^[7]。(2) 暖水类群: 代表种类有旋链角毛藻 (*Chaetoceros curvisetus*) 和扁面角毛藻 (*Chaetoceros compressus*) 等。(3) 暖温带类群: 该类群种类及数量均较少, 代表种类有冕孢角毛藻 (*Chaetoceros subsecundus*) 等^[8]。

2.2 数量分布

浮游植物细胞平均密度为 4.67×10^8 个/ m^3 , 各站细胞数量为 $(1.02 \sim 11.63) \times 10^8$ 个/ m^3 , 高值区位于河口附近的 2 号站和 3 号站, 分布上呈现由河口向外海逐渐降低的趋势, 径流量较大的中水道细胞数量明显高于径流较小的西水道。

各调查站浮游植物的细胞密度占总密度的百分比和浮游植物种类出现频率进行优势度分析, 以 $Y < 0.02$ 确定优势种。硅藻门的中肋骨条藻为唯一优势种, 优势度为 0.74, 是调查海区的关键种。细胞数量为 $(0.43 \sim 8.32) \times 10^8$ 个/ m^3 , 平均值为 3.46×10^8 个/ m^3 , 高值区为中水道入海口处, 斑块分布比较明显。

2.3 浮游植物群落生态指数

浮游植物多样性和均匀度较低, 主要原因是中肋骨条藻的优势度明显, 种间数量分布不均匀。以 2 号站为例: 中肋骨条藻的细胞密度达到 8.32×10^8 个/ m^3 , 占该站浮游植物细胞数量总数的 99.88%, 导致该站的多样性指数和均匀度较低。浮游植物群落生态指数显示(表 2), 调查区域内浮游植物群落优势种单一且优势度较大, 群落结构相对简单。

2.4 浮游植物种数以及细胞密度与环境因素的关系

根据现场调查获得的海域水质参数(表 3), 鸭绿江口水质与历史资料相比变化不大^[9], 将浮游植物细胞总数与温度、盐度、悬浮物、营养盐(磷酸盐、无机氮)等因子结合进行 Spearman 相关性分析, 结果见表 4。鸭绿江口浮游植物的细胞数量与温度呈现显著正相关($P < 0.05$), 相关系数为 0.685, 与盐度呈现

表 1 浮游植物种类

Tab. 1 Catalogue of phytoplankton in the investigation

种名	种名	种名
具槽直链藻 <i>Melosira sulcata</i>	劳氏角毛藻 <i>Chaet. lorenzianus</i>	浮动弯角藻 <i>Eucampia zoodiacus</i>
星脐圆筛藻 <i>Coscinodiscus asferomphalus</i>	柔弱角毛藻 <i>Chaet. debilis</i>	长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i>
巨圆筛藻 <i>Cos. gigas</i>	旋链角毛藻 <i>Chaet. curvisetus</i>	柔弱菱形藻 <i>Nitz. delicatissima</i>
圆筛藻 <i>Cos. sp.</i>	冕孢角毛藻 <i>Chaet. subsecundus</i>	尖刺菱形藻 <i>Nitz. pungens</i>
辐环藻 <i>Actinocyclus sp.</i>	圆柱角毛藻 <i>Chaet. teres</i>	菱形藻 <i>Nitz. sp.</i>
辐裯藻 <i>Actinoptychus sp.</i>	窄隙角毛藻 <i>Chaet. affinis</i>	斜纹藻 <i>Pleurosigma sp.</i>
海链藻 <i>Thalassiosira sp.</i>	垂缘角毛藻 <i>Chaet. lacinosus</i>	舟形藻 <i>Navicula sp.</i>
细弱海链藻 <i>Thalassiosira subtilis</i>	发状角毛藻 <i>Chaet. pseudocrinitus</i>	加氏拟星杆藻 <i>Asterionella kariana</i>
中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	桥链角毛藻 <i>Chaet. anastomosans</i>	佛氏海毛藻 <i>Thalassiothrix franuenfeldii</i>
掌状冠盖藻 <i>Stephanopyxis palmeriana</i>	绕孢角毛藻 <i>Chaet. cinctus</i>	三角角藻 <i>Ceratium tripos</i>
丹麦细柱藻 <i>Leptocylindrus danicus</i>	扁面角毛藻 <i>Chaet. compressus</i>	梭角藻 <i>C. fusus</i>
翼根管藻 <i>Rhizosolenia alata</i>	角毛藻 <i>Chaet. sp.</i>	夜光藻 <i>Noctiluca scintillans</i>
刚毛根管藻 <i>Rhiz. setigera</i>	中华盒形藻 <i>Biddulphia sinensis</i>	锥形多甲藻 <i>Peridinium conicum</i>
脆根管藻 <i>Rhiz. fragilissima</i>	长耳盒形藻 <i>Biddulphia longicruris</i>	多甲藻 <i>Peridinium sp.</i>
斯氏根管藻 <i>Rhiz. stolterforthii</i>	中华半管藻 <i>Hemlaulus sinensis</i>	原甲藻 <i>Prorocentrum sp.</i>
密联角毛藻 <i>Chaetoceros densus</i>	布氏双尾藻 <i>Ditylum brightwellii</i>	小等刺硅鞭藻 <i>Dictyocha fibula</i>

表 2 浮游植物生态指数

Tab. 2 Community indexes of phytoplankton

生态指数	变化范围	平均值
多样性指数	0.02 ~ 1.87	0.97
均匀度	0.00 ~ 0.43	0.22
丰度	0.63 ~ 1.08	0.79

表 3 调查海域水质参数

Tab. 3 Chemical parameters of water in survey area

水质参数	变化范围	平均值
温度(°C)	1.10 ~ 2.30	1.88
盐度	24.90 ~ 28.00	25.97
DO(mg/L)	7.50 ~ 10.20	8.39
COD(mg/L)	0.20 ~ 1.94	1.33
磷酸盐(µg/L)	2.90~7.80	5.72
悬浮物(mg/L)	16.70~93.10	40.66
无机氮(µg/L)	134.13~157.40	149.80

显著负相关, 相关系数 - 0.744。结果表明影响鸭绿江口浮游植物的细胞数量分布的最主要的环境因子是温度和盐度。Gayoso 在对阿根廷 Bahia Blanca 河口浮游植物进行了长达 15 年的研究, 对浮游植物数量与环境因子之间的关系用多重回归分析, 结果发现总浮游植物细胞丰度与温度负相关^[10], 本次调查的结果与之并不完全一致, 主要由于本次调查水温较低, 低于浮游植物不同种类最适宜温度范围(10 ~ 40°C)^[11], 越接近适宜温度, 浮游植物数量越高, 体

现在本次调查中就是浮游植物数量与温度呈现显著正相关。鸭绿江口中水道的径流量远高于西水道, 位于中水道附近的站位盐度低于西水道, 受径流影响, 适应低盐环境的优势种中肋骨条藻大量增生, 导致中水道海域的浮游植物数量明显多于西水道海域, 相关性分析结果与实际调查的发现一致。

表 4 浮游植物与环境因子的关系

Tab. 4 Correlations between phytoplankton and environmental factors

影响因子	Spearman 相似性系数	
	细胞总数	细胞种类数
温度	0.685*	0.182
盐度	-0.744*	-0.151
DO	-0.104	-0.016
COD	0.396	0.019
磷酸盐	0.073	0.013
悬浮物	0.552	0.037
无机氮	-0.164	0.199
氮磷比	0.111	0.076

注: *在置信度(双侧)为 0.05 时, 相关性是显著的

鸭绿江口营养盐氮磷比平均为 63.90, 与一些赤潮发生时的氮磷比环境相似^[12-13]。根据刘东艳等的研究结果: 中肋骨条藻生长和生理状态受氮磷比的影响比较明显。在氮磷比为 64:1 的状态下的生长速度要优于氮磷比小于 16 的营养状态, 而且能够维持

较稳定的生长水平^[14]。说明鸭绿江口为中肋骨条藻的生长提供了较为稳定的氮磷比环境,中肋骨条藻的生长未受到氮或磷的限制。从表4中看出,营养盐与浮游植物数量之间没有明显的相关性,也说明鸭绿江口海域的浮游植物生长并未受到营养盐的限制。

浮游植物种类数量与环境因子没有统计学意义上相关性,可能受到浮游植物种间竞争的影响要远大于环境因子的影响。

3 结论

鸭绿江口春季调查共鉴定浮游植物48种,包括41种硅藻、6种甲藻和1种金藻。发现的类群以广温类群为主。常见种类为中肋骨条藻、尖刺菱形藻、刚毛根管藻、窄隙角毛藻、浮动弯角藻。

浮游植物细胞密度的平均值为 4.67×10^8 个/ m^3 ,变化范围为 $(1.02 \sim 11.63) \times 10^8$ 个/ m^3 ,平面分布趋势呈现由河口至外海呈递减的格局。硅藻类的数量占明显优势。

中肋骨条藻平均细胞密度为 3.46×10^8 个/ m^3 ,约占浮游植物细胞总数的74.1%,是本次调查发现的唯一优势种,斑块化分布比较明显。受到中肋骨条藻细胞数量的影响,浮游植物群落优势种比较单一且优势度较大,群落结构相对简单。

温度和盐度是浮游植物细胞数量的主要限制性因子。表明浮游植物数量受到鸭绿江径流的影响较大。

参考文献:

- [1] 程岩,张毅. 鸭绿江下游河道演变及其对港口的影响[J]. 泥沙研究, 1990, 2: 77-84.
- [2] 刘月,程岩,李富祥,等. 鸭绿江口及毗邻浅海沉积物重金属的分布特征与风险评价[J]. 环境污染与防治, 2011, 33(7): 1-9.
- [3] 高建华,李军,王珍岩,等. 鸭绿江河口及近岸地区沉积物中重金属分布的影响因素分析[J]. 地球化学, 2008, 37(5): 430-438.
- [4] 王极刚,赵杰. 2001~2005年鸭绿江河口及邻近海域水质评价[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(5): 499-501.
- [5] 郭沛涌,沈焕庭. 河口浮游植物生态学研究进展[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 139-142.
- [6] 国家技术监督局. GB 12763.6-1991 海洋调查规范——海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [7] 郭玉杰,钱树本. 中国海藻志[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [8] 李扬,李欢,吕颂辉,等. 南麂列岛海洋自然保护区浮游植物的种类多样性及其生态分布[J]. 水生生物学报, 2010, 24(3): 618-628.
- [9] 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.
- [10] Gayoso A M. Long-term phytoplankton studies in the Bahía Blanca estuary, Argentina[J]. ICES J Mar Sci, 1998, 55(4): 655-660.
- [11] Eppley R W. Temperature and phytoplankton growth in the sea[J]. Fish Bull, 1972, 70: 1063-1085.
- [12] Hodgkiss I J, Lu S H. The effects of nutrients and their ratios on phytoplankton abundance in Junk Bay[J]. Hydrobiology, 2004, 512: 215-229.
- [13] 郝建华,霍文毅,俞志明. 胶州湾增殖养殖海域营养状况与赤潮形成的初步研究[J]. 海洋科学, 2000, 20(4): 37-41.
- [14] 刘东艳,孙军. 不同氮磷比对中肋骨条藻生长特性的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2002, 2: 39-44.

Phytoplankton community and its relationship with environment factors in the Yalujiang River Estuary

ZHANG Xiao-ju¹, WEN Ruo-bing², YU Hai-yang³

(1. SOA. North Sea Marine Engineering Prospecting Research Institute, Qingdao 266033, China; 2. North China Sea Environmental Monitoring Center, SOA, Qingdao 266033, China; 3. Marine Life College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Received: Apr.,6,2012

Key words: Yalujiang River estuary; phytoplankton; diversity; temperature; salinity

Abstract: In order to study the structure of the phytoplankton community of the Yalujiang River and its influencing factors, phytoplankton samples were collected from the Yalujiang River Estuary and its adjacent waters in March, 2009. A total of 48 phytoplankton species were identified, including forty-one diatoms, six dinoflagellates and one golden-brown alga. Phytoplankton species can be divided into three ecological groups: eurythermal taxa, warm water taxa and warm temperature taxa, and the eurythermal taxa was the dominant group. The average number of phytoplankton cell was $4.67 \times 10^8 / \text{m}^3$, and the cell number decreased from the inner section of the Yalujiang River estuary to open sea. The survey results showed that the structure of phytoplankton community was simple with *Skeletonema costatum* as the main dominant species. From the correlation analysis, it is concluded that temperature and salinity were the major limit factors for the number of phytoplankton cells, and the Yalujiang River runoff had made a great impact on the number of phytoplankton cells.

(本文编辑: 梁德海)