

高公岛近岸海域浮游植物群落特征

徐加涛^{1,2}, 吴建新^{1,2}, 阎斌伦^{1,2}, 冯志华^{1,2}, 陈松茂³, 李玉^{1,2}

(1. 淮海工学院 海洋学院, 江苏 连云港 222005; 2. 淮海工学院 江苏省海洋生物技术重点建设实验室, 江苏 连云港 222005; 3. 连云港市海洋与渔业局, 江苏 连云港 222006)

摘要: 2009年8月对高公岛附近海域的海洋浮游植物及环境因子进行了调查, 在14个调查站位共鉴定浮游植物4门36属81种, 其中, 硅藻门25属63种, 占种数的77.78%; 甲藻门9属16种, 占种数的19.75%, 蓝藻门1属1种, 占种数的1.23%, 金藻门1属1种, 占种数的1.23%。浮游植物生态类型主要以低盐近岸性类群为主, 辅以少量的广温广盐性类群。主要优势种为斯氏几内亚藻、短角弯角藻、拟旋链角刺藻、扭链角刺藻。优势度分别为0.688、0.207、0.142、0.103。浮游植物的细胞丰度范围为 $0.458 \times 10^5 \sim 3.134 \times 10^5$ 个/L, 平均值为 1.180×10^5 个/L。群落特征指数变幅较大(种类数为19~43, 丰富度指数为1.064~2.364, 多样性指数为2.069~3.428, 均匀度指数为0.485~0.677)。丰富度指数均值为1.753, 多样性指数均值为2.926, 均匀度指数均值为0.592。相关性分析表明, 仅均匀度指数与水温之间具有显著的相关性, 相关系数(r)为0.544, $P < 0.05$, 水温越高, 均匀度指数越高; 其它因子之间均没有显著的相关性。高公岛近岸海域水质状况的生物多样性指数评价显示, 该海域水质总体处于轻污染, 尚适宜浮游植物的生长。

关键词: 浮游植物; 群落特征; 高公岛; 环境因子

中图分类号: Q948.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2012)02-0024-05

江苏省连云港市最东端的高公岛乡, 有中国目前单机容量最大的田湾核电站。核电站运行时将通过温排水的形式把巨大热能传递到邻近海域, 导致水温上升。高公岛附近海域是重要的紫菜养殖区, 核电站的建设和运行对其所处的海洋生态系统影响的研究有重要意义, 也是人类活动对海洋环境影响的重要补充。

海洋浮游植物是海洋最重要的初级生产者, 其群落特征直接或间接的制约着海洋生产力的发展。海洋浮游植物能改变海水光通量与热通量^[1]、海洋碳通量^[2]和云返照率^[3], 而改变全球气候, 影响人类的生存环境质量。此外, 其群落结构可以灵敏而迅速地反映环境的变化, 不同的浮游植物的群落结构决定了其在生态系统中的功能差异, 因此环境变化导致的海洋浮游植物群落结构变化是当今海洋生态学研究热点之一^[4]。中国近岸海域浮游植物已有大量研究^[5-9], 核电站附近海域浮游植物的研究也有一些报道^[10-11], 但有关高公岛附近海域浮游植物群落结构特征及其与水质因子的相互关系的研究尚未见报道。作者在2009年8月7号在该海域进行了浮游植

物采样与分析研究, 一方面了解该海域浮游植物生态系统结构和功能状况, 同时也为核电站等重大工程项目的海域环境影响评价及生态环境保护措施的制订和渔业资源可持续利用等提供基础资料。

1 研究方法

1.1 调查站位布设、采样及处理方法

租用苏连渔 02018 号船在连云港高公岛近岸海域 $34.61 \sim 34.77^\circ\text{N}$, $119.45 \sim 119.67^\circ\text{E}$ 之间, 从近到远布设 5 个断面(I:S3、S8、S11; II:S7、S13; III:S6、S10; IV:S2、S5、S9、S12; V:S1、S4、S14)共 14 个站位进行浮游植物采样, 采样站位如图 1 所示。根据水深(图 2)用国产有机玻璃采水器(2.5 L)在表层、5 m、10 m 和底层分别采水, 混合后取 1 升水加入 10

收稿日期: 2010-12-10; 修回日期: 2011-09-11

基金项目: 国家自然科学基金(青年基金)资助项目(40906054; 906067); 江苏省海洋生物技术重点建设实验室基金资助项目(2008HS005)

作者简介: 徐加涛(1970-)男, 江苏连云港人, 硕士研究生, 研究方向为水域生态学; 吴建新, 通信作者, 副教授, 主要从事海洋生态学研究, 电话: 13961396818, E-mail: hgwxj 2002@163.com

毫升鲁哥氏碘液固定^[12], 样品参照相关文献^[13-16]进行种类鉴定及按个体计数法进行计数、统计和分析, 同步采集水质分析的水样, 参考《海洋调查规范》测定水温、水深、pH、盐度、叶绿素、硅酸盐、磷酸盐、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮含量、溶解氧、悬浮物浓度等水质指标。

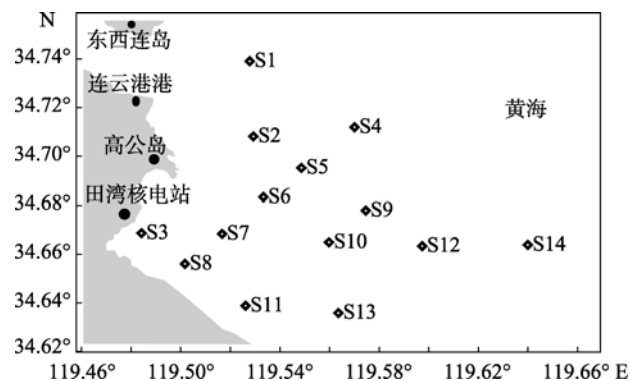


图 1 采样站位示意图

Fig. 1 Map of sampling stations

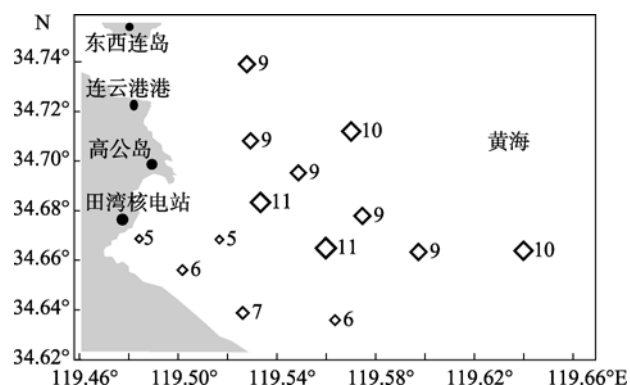


图 2 采样站位水深(m)的平面分布

Fig. 2 Water depth at sampling stations

1.2 分析方法和计算公式

定量描述浮游植物群落指数采用香农-威纳多样性指数 H' (Shannon-Wiener index)、Margalef 丰富度指数 (d)、物种均匀度 Pielou 指数 (J') 和优势度指数 (Y), 按照如下公式计算:

$$H' = -\sum P_i \times \log_2 P_i \quad d = (S-1) / \log_2 N$$

$$J' = H' / \log_2 S \quad Y = n_i / N \times f_i$$

式中, H' 为多样性指数; S 为该站位的物种数; P_i 为第 i 种的个数与该站位总个数的比值; d 为丰富度指数; J' 为均匀度指数。 n_i 为某个站位第 i 种的个体数; f_i 为该种在各站位出现的频率; N 为每个种的总个体数。使用 Suffer 8.0 软件作图, SPSS 16.0 软件进行数据与

相关性分析^[17]。

2 结果

2.1 调查海域浮游植物的种类组成和生态类型

调查海域共鉴定浮游植物 4 门 36 属 81 种 (图 3)。其中, 硅藻门 25 属 63 种, 占种数的 77.78%; 甲藻门 9 属 16 种, 占种数的 19.75%; 蓝藻门 1 属 1 种, 占总种数的 1.23%; 金藻门 1 属 1 种, 占总种数的 1.23%。

从图 3 可以看出, 硅藻类在种类数上占绝对优势, 是最重要的群落组成者。浮游植物主要由低盐近岸生态类群组成, 如伏氏海毛藻、浮动弯角藻、三角角藻、棱角藻等, 尚有少量的半咸水河口生态类群和广温广盐生态类群, 如中肋骨条藻等, 种类较丰富。

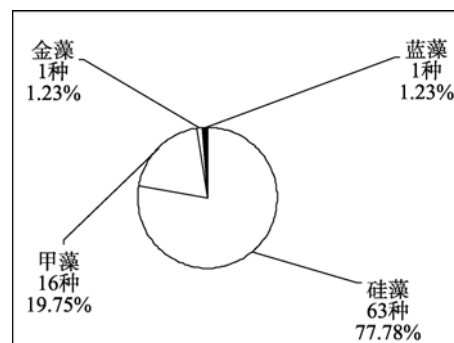


图 3 浮游植物各类群比例

Fig. 3 The proportion of phytoplankton phytoplankton groups

2.2 调查海域浮游植物的丰度和种类数

调查海域各站位浮游植物的丰度为 $0.458 \times 10^5 \sim 3.134 \times 10^5$ 个/L, 平均值 1.795×10^5 个/L。最高丰度出现在 S5 站位; 最低丰度出现在离核电站最远的 S14 站位; 浮游植物细胞丰度平面分布有很大差异, 最高值是最低值的 6.8 倍 (图 4)。浮游植物种类数 (图 5) 各站位较丰富; 除 S1、S3、S4、S8、S11、S14 不足 30 种外, 其他站位种类数都超过 30 种, 最高值有 42 种, 出现在 S10 站位, 最少为 19 种, 出现在 S4 站位, 具体如图 4 所示。

2.3 调查海域浮游植物的群落特征

浮游植物多样性指数为 2.069~3.428, 均值为 2.926, 多样性指数最高和最低的站位分别是 S13 和 S4, 数值在 2 和 3 之间的站位有 S1、S3、S4、S5、

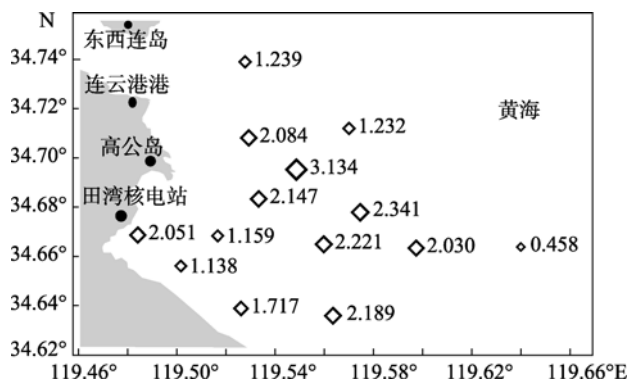


图 4 采样站位浮游植物丰度($\times 10^5$ 个/L)的平面分布
Fig. 4 Density of phytoplankton at sampling stations

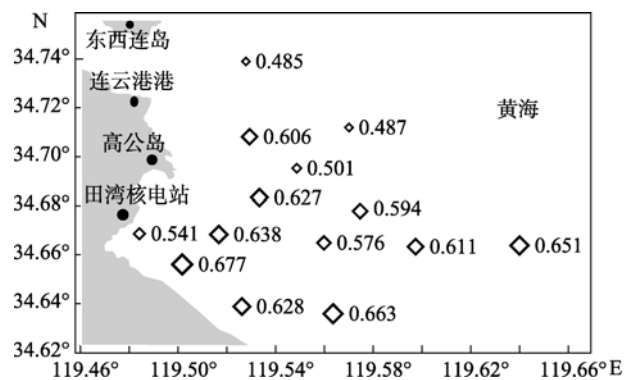


图 7 采样站位浮游植物的均匀度指数
Fig. 7 Evenness index of phytoplankton at sampling stations

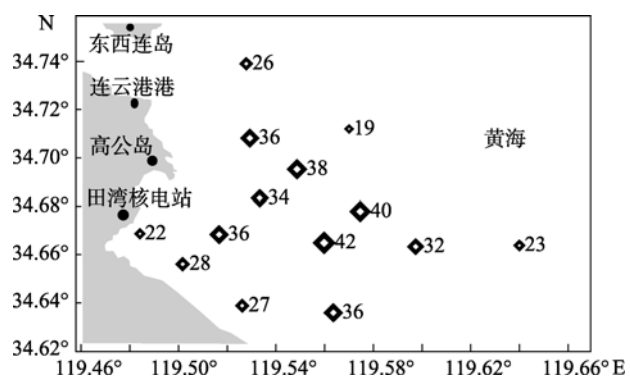


图 5 采样站位浮游植物种类数

Fig. 5 Species number of phytoplankton at sampling stations

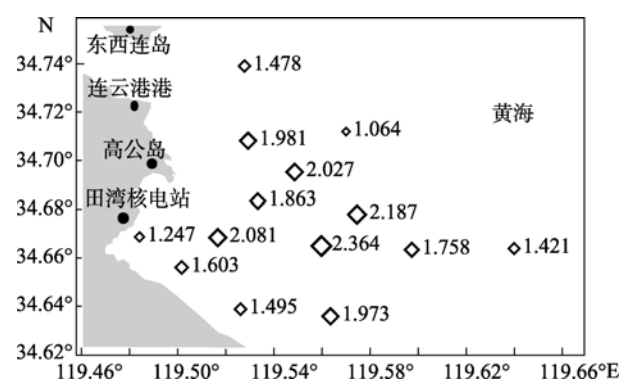


图 8 调查海域浮游植物丰富度指数的平面分布

Fig. 8 Richness index of phytoplankton at sampling stations

S11、S14, 在 3 和 4 之间的站位有 S2、S6、S7、S8、S9、S10、S12、S13(图 6)。调查海域均匀度指数为 0.485~0.677, 均值为 0.592, 均匀度指数最高的站位是 S8, 最低的站位是 S1(图 7); 丰富度指数为 1.064~2.364, 均值为 1.753, 丰富度指数最高的站位是 S10, 最低的站位是 S4(图 8)。

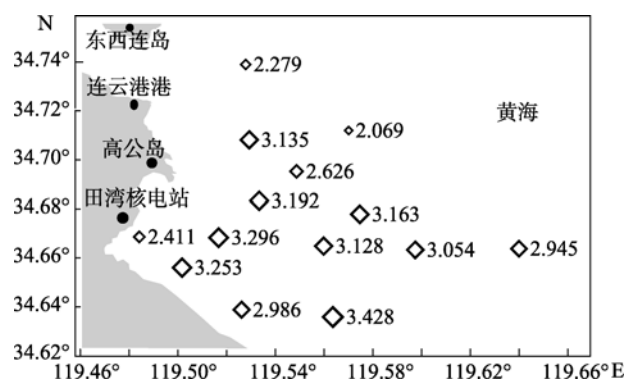


图 6 采样站位浮游植物多样性指数

Fig. 6 Biodiversity indexes of phytoplankton at sampling stations

2.4 浮游植物优势种类

整个调查海域的浮游植物优势种类(优势度 $Y > 0.02$)共 18 种。主要优势种类(优势度 $Y > 0.1$)为斯氏几内亚藻(*Guinardia striata*)、浮动弯角藻(*Eucampia zoodiacus*)、拟旋链角毛藻(*Chaetoceros pseudocurvisetus*)、扭链角毛藻(*Chaetoceros tortissimus*)。优势度分别为 0.688、0.207、0.142、0.103。

2.5 调查站位主要非生物因子

不同采样站位的氨氮质量浓度有较大差异, 最高为 0.34 mg/L, 出现在 S11, 最低为 0.03 mg/L, 出现在 S4 和 S13, 平均为 0.14 mg/L; 悬浮物(SPM)含量最高为 56.8 mg/L, 出现在 S3, 最低为 25.4 mg/L, 出现在 S12, 平均为 38.3 mg/L; 不同站位的水深和水温有较大差异, 最深处在 S10, 深度 11 m, 最浅处在 S3 和 S7, 深度 5 m; 水温最高为 26.6 $^{\circ}$ C, 在 S11, 最低为 25.3 $^{\circ}$ C, 在 S1、S4、S14 站位; DOC 最低为 6.86 mg/L, 最高为 8.81 mg/L, 平均为 7.64 mg/L; pH

最低为 8.21, 最高为 8.38, 平均为 8.28; 盐度最高为 27.79, 最低为 25.73, 平均为 26.77。

3 讨论

浮游植物是海洋生态系中一个重要类群, 其在特定海域的数量和种类的多少直接受到海洋环境条件不同的影响, 影响因素包括水温、盐度、氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐、磷酸盐、硅酸盐、DOC、pH、浮游动物等。

3.1 海水温度的平面分布特征

从图 9 可以明显看出, 核电站温排水使调查海域海水温度从西南方向近岸处的高温向东北方向逐渐降温。在远岸的第 V 断面的 S1、S4、S14 三个站位上水温最低, 平均水温是 25.3℃; 最高水温是 26.6℃, 出现在第 I 断面的 S11, 该断面的平均水温最高, 为 26.4℃; 第 II 断面的平均水温为 26.1℃; 第 III 断面的是 26.0℃; 第 IV 断面的降为 25.75℃, 而同期东西连岛周围海域水温在 23.7℃左右。水温分布状况显示核电站温排水造成了局部海域水温上升, 但是升幅不大, 在 3℃以内, 温升区域的面积也有限(图 9)。

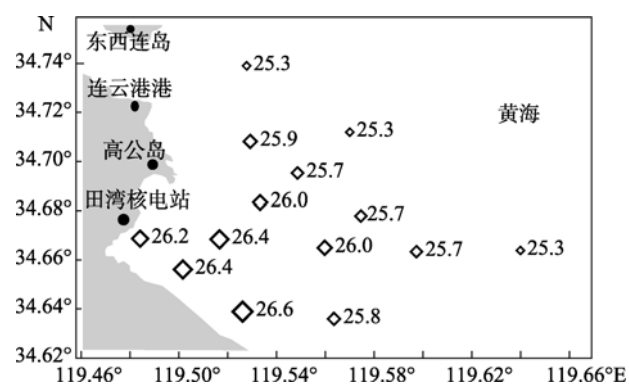


图 9 采样站水温

Fig. 9 Water temperature at sampling stations

3.2 浮游植物丰度和种类分布特征

调查海域浮游植物丰度的平面分布变化很大(图 4), 最小值为 0.458×10^5 个/L, 出现在 S14 站位; 最大值为 3.134×10^5 个/L, 出现在 S5, 浮游植物细胞丰度在断面 III(S6、S10)和断面 IV(S2、S5、S9、S12)的站位较高; 平均值为 1.795×10^5 个/L, 是长江口秋季浮游植物细胞丰度的 41 倍^[7]。调查海域浮游植物种类数的平面分布也有较大的差异(图 5), S4 站位最少, 只有 19 种, S10 站位最多, 有 42 种。断面 I(S3、S8、

S11)和断面 V(S1、S4、S14)种类数都在 20 种左右; 而断面 II(S7、S13), 断面 III(S6、S10)和断面 IV(S2、S5、S9、S12)都有 30 种左右。

3.3 浮游植物群落特征参数与水质环境因子的相关性分析

调查海域的水质因子状况监测, 包括 pH、悬浮物含量、氨氮含量、COD、DOC、盐度、油含量、汞离子浓度、铅离子浓度、锌离子浓度、镉离子浓度、铜离子浓度、磷酸盐含量、硝酸盐含量、亚硝酸盐含量以及砷含量。利用 SPSS 软件对浮游植物群落特征参数和水质因子之间的相关性分析表明, 均匀度指数与水温之间具有显著的相关性, 相关系数(r)为 0.544, 具有显著性意义($P < 0.05$), 水温越高, 均匀度指数越高。其他因子之间均没有显著的相关性, 说明目前田湾核电站的运行对附近海域浮游植物的生长影响甚微。

3.4 浮游植物群落多样性的环境评价

田湾核电站近岸海域浮游植物种类丰富, 多样性指数较高, 多样性指数平均值为 2.926, 最高值为 3.428, 最低值为 2.069。参照国内通用的生物指数评价标准^[18], $H' = 0$, 为严重污染; $0 < H' < 1$, 重污染; $1 < H' < 2$, 为中污染; $2 < H' < 3$, 为轻污染; $H' > 3$, 为清洁。可以判定, 目前田湾核电站近岸海域水质状况总体属于轻污染, 尚适宜浮游植物的生长, 浮游植物群落结构较稳定。

参考文献:

- [1] Sathyendtanath S, Gouveia A D, Shetya S R, et al. Biological control of surface temperature in the Arabian Sea[J]. Nature, 1991, 349: 54-56.
- [2] Sarmiento J L, Toggweiler J R, Najjar R. Ocean carbon-cycle dynamics and atmospheric $p\text{CO}_2$ [J]. Phil Trans R Soc Lond A, 1998, 325: 3-21.
- [3] Charlson R J, Lovelock J E, Andreae M O, et al. Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud zbedo and climate[J]. Nature, 1987, 326: 655-661.
- [4] 吴玉霖, 张永山, 周成旭. 浮游植物与初级生产力[C]//焦念志. 海湾生态过程与持续发展. 北京: 科学出版社, 2001: 96-108.
- [5] 郭玉洁, 杨则禹. 长江口区浮游植物的数量变动及生态分析[C]//中国科学院海洋研究所. 海洋科学集刊(19). 北京: 科学出版社, 1982: 167-189.
- [6] 郭玉洁, 杨则禹. 1976 年夏季东海陆架区浮游植物生态的研究[C]//中国科学院海洋研究所. 海洋科学集刊(19). 北京: 科学出版社, 1982: 11-32.

- [7] 赵冉, 孙军, 白洁. 2006年秋季长江口及其邻近水域浮游植物群落[J]. 海洋科学, 2010, 34(4): 32-39.
- [8] 霍文毅, 俞志明, 邹景忠, 等. 胶州湾中肋骨条藻赤潮与环境因子的关系[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(3): 311-318.
- [9] 孙军, 刘东艳, 高会旺, 等. 2001年冬季渤海的浮游植物群落结构特征[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(3): 413-422.
- [10] 韦桂峰, 王肇鼎, 练健生. 大亚湾大鹏澳水域春季浮游植物优势种的演替[J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2285-2292.
- [11] 孙翠慈, 王友绍, 孙松, 张凤琴. 大亚湾浮游植物群落特征[J]. 生态学报, 2006, 26(12): 3948-3958.
- [12] 国家技术监督局. 海洋调查规范(GB/T 12763.6-2007). 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [13] 孙军, 刘东艳. 中国海区常见浮游植物种名更改初步意见[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(3): 271-286.
- [14] 齐雨藻, 邹景忠, 梁松, 等. 中国沿海赤潮[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [15] 金德祥, 陈金环, 黄凯歌. 中国海洋浮游硅藻类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1964: 1-230.
- [16] 郑重, 李少菁, 许振祖. 海洋浮游生物学[M]. 北京: 海洋出版社, 1984.
- [17] 郭志刚. 社会统计分析方法——SPSS 软件应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1999: 18-83.
- [18] 蔡晓明. 生态系统生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

Community characteristics of phytoplankton near Gaogong Island Area

XU Jia-tao^{1,2}, WU Jian-xin^{1,2}, YAN Bin-lun^{1,2}, FENG Zhi-hua^{1,2}, CHEN Song-mao³, LI Yu^{1,2}

(1. HuaiHai Institute of Technology College of Ocean, Lianyungang 222005, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Marine Biotechnology, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China; 3. Bureau of Marine and Fishery of Lianyungang Municipality, Lianyungang 222006, China)

Received: Dec., 10, 2010

Key words: Phytoplankton; Community Characteristics; Gaogong Island; Environmental factors

Abstract: Phytoplankton is the primary producer of the ocean. The variation of its variety and quantity will control the secondary productivity as well as the biomass of fish and other marine animal resources. It plays an important role in the food web of the sea. In August of 2009, the species composition, quantitative distribution, dominant species and community structural characteristics of the phytoplankton were studied at 14 stations near Gaogong Island area (34.62°~34.76°N, 119.46°~119.66°E). 81 species of 36 genera were identified in the studied water, which belong to 4 phylums including 63 species of 25 genera of Bacillariophyceae, 16 species of 9 genera of Pyrroptata, 1 species of 1 genera of Cyanophyta and 1 species of 1 genera belong to Chrysophyta. The abundance of phytoplankton varied from 0.458×10^5 to 3.134×10^5 ind./L with an average value of 1.180×10^5 ind./L. In this investigation, it was found that diatoms had the most contribution to the main abundance, followed by Pyrroptata. They were the main groups of the phytoplankton. There were 4 species with dominance > 0.02 in the zone. among which *Cuinaradia striata* (Stolterfoth) Hasle, *Eucampia zoodiacus* Ehrenberg, *Chaetoceros pseudo-curvisetus* Mangin, *Chaetoceros tortissimus* Gran were the main dominant species, with dominance index of 0.688, 0.207, 0.142 and 0.103 respectively. The indexes amplitude varied greatly (the species from 19 to 43, the richness 1.064~2.364, the diversity index 2.069~3.428, the evenness index 0.485~0.677), which indicates the instability of community structure. The mean diversity index of phytoplankton was 2.926, the mean richness index was 1.753, the mean evenness index was 0.592.

The analysis of correlations showed that water temperature and the evenness index were significantly correlated ($P < 0.05$) with correlation coefficient of 0.544, and no significant relation was observed between multivariate analysis of phytoplankton community and environmental factors in the study area.

Phytoplankton diversity index method was adopted to assess the water quality of Tianwan nuclear power plant inshore. The results showed that the water quality is in a light pollution condition overall, suitable for the growth of phytoplankton.

(本文编辑: 梁德海)