

象山港西部海域夏季浮游植物生态学研究: I. 种类组成及年际变化

刘 莲, 任 敏, 华敏敏, 王玉初, 曹 维, 杨耀芳, 邱武生

(国家海洋局 宁波海洋环境监测中心站, 浙江宁波 315012)

摘要: 根据 2006~2008 年夏季(7~8 月)在象山港西部海域(121°37'E、29°40'N 以西)进行的海洋调查资料, 对该海域浅水 III 型浮游生物网采集的浮游植物的种类组成与分布、年际变化以及与理化环境因子的相关性进行了研究。结果表明: 调查海域夏季共鉴定到浮游植物 54 种, 其中硅藻类占绝对优势, 为 48 种, 并可大体分为河溪淡水性、外洋性广布种和沿岸内湾性三大生态类群, 优势种主要有丹麦细柱藻 (*Leptocylindrus danicus*)、紧密角管藻 (*Cerataulina compacta*)、中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*)、琼氏圆筛藻 (*Coscyndiscus jondsiarus*) 等。根据环境因子与种类数的相关性分析表明, 透明度和化学需氧量(COD)对浮游植物种类数影响最大, 其次为活性磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)、无机氮(DIN)、盐度、水温相对较小。与历史资料相比, 调查海域夏季浮游植物种类数量存在明显年际差异, 且仍处于波动状态。

关键词: 象山港; 浮游植物; 夏季; 生态; 种类

中图分类号: P714.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2013)05-0094-06

海洋浮游植物是海洋生态系统中最主要的初级生产者, 也是海洋食物链的重要组成部分^[1], 它不仅为鱼类仔稚期、甲壳动物和软体动物提供食物和必需的营养成分, 并且可以用来指示海洋水体的质量^[2-3]。象山港是多种海洋生物繁殖、索饵和肥育的优良场所, 也是浙江省发展海水养殖和海洋经济的重要港湾之一。本调查海域位于象山港西部海域, 即象山港两大电厂以西的港湾底部海域, 受热电厂的影响相对较为明显, 区域位置敏感, 水体交换能力差, 生态环境较为脆弱。有关象山港浮游植物的研究有不少报道^[4-7], 对象山港浮游植物自然生态研究的资料也不少, 如 20 世纪 80 年代开展的浙江省海岸带调查^[8]、象山港海湾志补充调查^[9]以及 2001 年开展的象山港环境容量及总量控制研究^[10]等大型综合调查, 尤其是随着几年来象山港海洋开发力度的不断加大如电厂建设等, 海洋工程前、后的海洋环境保护业务化专项调查^[11-13]也不断在开展, 这些报道和专项研究报告对象山港各个时期及不同季节的浮游植物种类组成及数量分布进行了相关分析, 为本文的研究奠定了良好基础。本文着重对象山港电厂以西海域夏季浮游植物种类组成及年际变化进行研究, 同时在研究外界理化因子对该海域浮游植物种类组

成和分布影响时利用了数理统计的方法, 这不仅丰富了浮游植物生态学的内容, 而且为今后港湾生态学尤其是热(核)电厂建设与海洋生态效应研究提供可比资料, 同时也为海洋资源的保护、开发和利用提供科学依据。

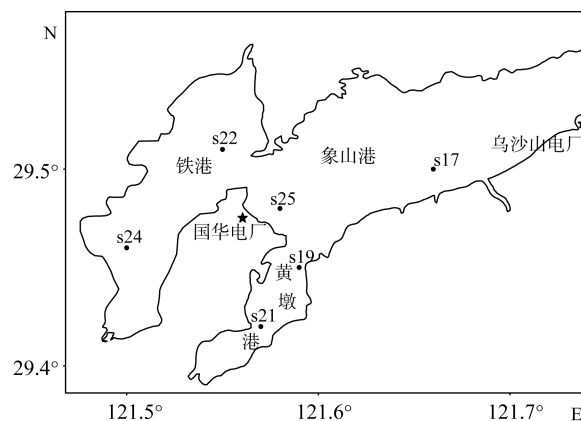


图 1 采样站位

Fig. 1 Sampling stations

收稿日期: 2012-02-11; 修回日期: 2012-04-21

基金项目: 宁波市科技计划项目(2006c100030); 国家海洋局项目(DOME(P(MEA)-03-02)

作者简介: 刘莲(1975-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事海洋生态、海洋环境监测与评价工作, 电话: 0574-27838875, E-mail: lliu75@163.com

1 材料和方法

2006~2008年夏季(7~8月),对象山港西部海域(121°37'E、29°40'N以西)进行了样品采集,采样点布设见图1。浮游植物的样品采集和室内处理按照《海洋监测规范》第7部分:近海污染生态调查和生物监测(GB 17378.7-2007)进行,用浅水型浮游生物网(网口内径37cm、网口面积0.1 m²、网圈直径为10 mm的圆钢条、全长140 cm)自底至表垂直拖曳采集。所获样本均经5%福尔马林溶液固定后,再进行分类与鉴定。

2 结果与讨论

2.1 种类组成及生态类群

根据3年来夏季象山港西部海域采集的样本,经初步分析,共获得浮游植物54种,其中硅藻占绝对优势,为47种,约占总种数的87%;其他为甲藻3种、蓝藻1种和淡水藻2种。根据种类的生态习性区分,可大体分为如下三大生态类群。

2.1.1 河溪淡水性生态类群

属本生态类群的种类有斜生栅列藻(*Scenedesmus obliquus*)、近似针杆藻(*Approximate synedra*),该藻类由山溪河川的淡水输入,但由于象山港的盐度较高,不适于淡水种类的生存,故该种类的现存量不高。

2.1.2 外洋性广布种

属本生态类群的种类主要有虹彩圆筛藻(*Coscinodiscus oculis-iridis*)、豪猪棘冠藻(*Corethron hystris*)、并基角毛藻(*Chaetoceros decipiens*)等,这些种类的现存量也不高。

2.1.3 沿岸内湾性种

本生态类群出现的种类最多,现存量最大,决定象山港浮游植物总数量分布和变动的的影响重要优势种均属本类群,它们的多数种类是象山港土生土长的,也有一些种类是浙江沿岸流输入,或已在象山港定居生长^[4]。属本类群的主要优势种有丹麦细柱藻(*Leptocylindrus danicus*)、紧密角管藻(*Cerataulina compacta*)、中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、琼氏圆筛藻(*Coscinodiscus jondsiarus*)、洛氏菱形藻(*Nitzschia lorenziana*)等。

2.2 种类分布及与环境因子的相关性

海水中浮游植物的种类组成、分布及现存量与环境因子是密切相关的,其生长繁殖除受自身的生物学特性影响外,还受到周围环境因素如水动力条

件、水温、盐度、营养盐等因素的影响^[14-17]。

2.2.1 水温、盐度和透明度与种类分布

水温也是影响浮游植物种类分布的重要环境因素之一,夏季主要为偏暖性、暖水性和广温性种类,如掌状冠盖藻(*Stephanopyxis palmeriana*)、紧密角管藻、中肋骨条藻,调查期间水温平均值为30.4~31.2℃。盐度对港湾浮游生物种类分布的影响仅表现为沿岸流的作用使港湾区处于低盐状态,从而阻隔了高盐性种类向湾内进入,根据3年的调查结果,调查海域夏季水体中的盐度平均值为24.5~28.3,外海性种类主要分布在主港海域(s17、s25测站),港底(s21、s24测站)则无分布。生活在两港湾的种类一般都具有适应低盐性或广盐性的特点,如丹麦细柱藻、紧密角管藻、琼氏圆筛藻、中肋骨条藻、罗氏角毛藻(*Chaetoceros lauderi*)、异常角毛藻(*Chaetoceros insignis*)等。

对调查海域水温、盐度、透明度与种类分布的关系进行相关系数显著性检验,结果如表1所示。表1中的分析结果表明水温、盐度与浮游植物种类数的相关性不显著,但存在正相关的趋势,这表明水温、盐度从生态习性角度对该海域浮游植物的种类组成、结构有一定的影响,但对其种类数的多少则影响不显著。透明度与浮游植物种类数存在显著的正相关效应,说明透明度是影响该海域浮游植物种类组成的重要环境因子。

2.2.2 化学需氧量、营养盐与种类数的相关性

从表1还可知,浮游植物种类数与化学需氧量和活性磷酸盐呈显著的负相关,与无机氮相关性不显著,但存在负相关的趋势,且对浮游植物种类数影响程度为:化学需氧量>活性磷酸盐>无机氮。

象山港营养盐含量的变化,除浮游植物消耗外,主要受长江和钱塘江冲淡水为主的浙江沿岸流、台湾暖流和沿岸山川小溪等地表径流注入的共同影响,象山港水体中的氮、磷营养盐含量十分丰富,并长期处于富营养化状态^[18]。浮游植物生长与繁殖需不断消耗水体中的氮、磷等营养物质,因此水体中丰富的营养物质,一方面可为浮游植物的生长繁殖提供良好的物质基础^[6];而另一方面又将在其他条件如水文(水温、海流)、气象、重金属痕量元素、维生素腐殖质类有机物等环境要素的促进作用下,易引起浮游植物中的某些种类异常繁殖,使得种类数急剧下降,优势度明显上升,种类组成趋向单一化,从而导致赤潮的发生。从环境因子与种类数的相关性分析

表明,透明度和化学需氧量对浮游植物种类数影响最大,其次为活性磷酸盐,无机氮、盐度、水温相对较小,这从另一侧面也反映了导致该海域某种浮游植物种类异常繁殖或引发赤潮的环境制约因子主要为透明度、化学耗氧量和活性磷酸盐,透明度为水文指标,化学耗氧量是反映水体受有机物污染程度的一个重要指标,活性磷酸盐为营养盐指标,

这一结果与顾新根等^[4]“引起象山港浮游植物异常繁殖形成赤潮的条件,除氮磷外,必然还存在着如水文气象、重金属、有机质、油类等环境要素的促进作用”研究结论相一致。同时,活性磷酸盐的环境制约作用大于无机氮,也表明了磷为调查海域浮游植物营养盐限制因子,这与以往的研究成果^[19-21]亦相一致。

表 1 种类数与环境因子相关性

Tab. 1 Correlations between species number of phytoplankton and environmental factors

海区	种类(种)	盐度	水温()	透明度 (m)	化学需氧量 (mg/dm ³)	无机氮 (mg/dm ³)	活性磷酸盐 (mg/dm ³)
铁港	s22	12	27.7	31.2	0.90	0.95	0.610
	s24	9	26.3	30.4	0.63	1.31	0.613
黄墩港	s19	13	26.9	30.5	0.87	1.15	0.712
	s21	8	24.5	30.7	0.63	1.67	0.827
主港	s17	13	28.3	31.1	1.05	0.78	0.613
	s25	8	27.9	31.1	0.85	1.14	0.583

与盐度相关性检验: $r=0.561, t=2.622, t < t_{0.05}$, 相关性不显著; 与水温相关性检验: $r=0.204, t=0.806, t < t_{0.05}$, 相关性不显著; 与透明度相关性检验: $r=0.765, t=4.597, t > t_{0.05}$, 显著正相关; 与化学需氧量相关性检验: $r=-0.751, t=4.411, t > t_{0.05}$, 显著负相关; 与无机氮相关性检验: $r=-0.231, t=0.843, t < t_{0.05}$, 相关性不显著; 与活性磷酸盐相关性检验: $r=-0.590, t=2.830, t > t_{0.05}$, 显著负相关。

其中, r 为相关系数, $t = \frac{r-\rho}{S_r}$, $S_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}$, S_r 为

相关系数的标准误差。在 $\rho=0$ 时, 遵循 $df=n-2$ 的 t 分布, $n=6$, 取置信度 $\alpha=0.05, t_{0.05}=2.776$

2.3 种类数变化及讨论

表 2 列出了象山港西部海域浮游植物种类不同时期的观测结果。通过比较发现, 20 世纪 80 年代末调查海域夏季浮游植物种类数亦相对较少, 10 年之后, 该海域浮游植物种类数呈明显的增加趋势, 这与水体富营养化趋势逐渐加重的变化趋势相符^[18], 也与黄秀清等^[10]“象山港浮游植物总量 2001 年比 20 年前增加了一个数量级, 也是象山港富营养化趋势的一个佐证”的观点相一致, 尤其是 2006 年其观测值达到最高峰。随后两年, 2007 年和 2008 年又呈逐年下降趋势, 且与 2006 年相比, 下降幅度较大, 种类总数和优势种均明显减少。之后几年(2009 年、2010 年), 该海域浮游植物种类数又呈现一定的上升

趋势。因此, 象山港西部海域浮游植物种类存在明显的波动变化。

本调查海域是处于象山港两大电厂以西的港湾底部海域, 区域位置较为敏感, 水体交换能力差, 生态环境较为脆弱。电厂温排水热效应对接纳海域生态环境的影响, 许多学者已做过大量的研究^[22-27], 研究表明, 一般来说, 当水体适度增温时($\Delta T \leq 3^\circ\text{C}$), 群落中种类数增加, 但随着增温幅度的加大, 浮游植物种类数逐渐减少, 这主要是由于某些浮游植物无法耐受升高的温度, 生长繁殖受到抑制, 甚至导致死亡。廖一波等在 2005 年采用热效应模拟冬、夏两季温度对象山港浮游植物的影响研究中指出“夏季(自然水温为 28°C)实验温度超过 36°C , 冬季(自然水温为 12°C)实验温度超过 34°C 时, 浮游植物种类数和细胞密度均急剧减少”。象山港两电厂运营后多年来的专项跟踪监测结果显示^[12-13], 厂址前沿附近海域工程运营前、运营初期(2006 年、2007 年)浮游植物种类数下降明显, 减少幅度 30%~40%, 与本次观测结果基本一致。而后(2008~2010 年), 电厂附近海域浮游植物种类数年际差异逐渐降低, 同时呈现一定的波动状态, 这也表明电厂前沿海域浮游植物群落结构尚未稳定。

同时也有研究显示, 象山港浮游植物的季节变动极为剧烈^[4], 年高峰出现在秋末冬初(11~12 和 1 月)、次高峰出现在夏季(7 月), 一年内虽出现两次高峰, 但秋、冬季高峰要远远高于夏季次峰, 其变动规

律较为独特,也不同于以春季为年高峰、秋季为次高峰的典型温带双周期型的变动形式。因此表 2 中几个不同时期的浮游植物种类数变化特征,这或许

是不同年份的正常波动或处于生物周期的低谷^[6],也或许是调查月份之间的差异所致,还有待进一步探讨。

表 2 象山港西部海域夏季浮游植物种类不同时期的比较情况

Tab. 2 Species number of phytoplankton in western Xiangshan Bay at several time points in summer

采样日期 (年-月-日)	采样站点						总数 (种)	平均	优势种或常见种	资料来源
	s17	s25	s19	s22	s21	s24				
1988-06	9	6	5	7	4	3	-	5.7	角毛藻、菱形藻、圆筛藻、根管藻	顾新根等 ^[4] 、 中国海湾志 ^[9]
2001-08-05	14	-	13	15	-	-	24	14.0	紧密角管藻(86.1%)、琼氏圆筛藻 (4.6%)、罗氏角刺藻(1.4%)、 中肋骨条藻(1.0%)	黄秀清等 ^[10]
2006-08-30	27	-	20	18	12	15	34	18.4	丹麦细柱藻(38.5%)、紧密角管藻 (13.7%)、中肋骨条藻(12.2%)、琼氏 圆筛藻(9.5%)、罗氏角毛藻(7.8%)	
2007-07-05	7	10	10	13	7	9	23	9.3	紧密角管藻(71.4%)、琼氏圆筛藻 (10.6%)、洛氏菱形藻(4.8%)	本文
2008-07-14	5	6	8	5	5	3	19	5.3	丹麦细柱藻(53.1%)、琼氏圆筛藻 (35.7%)、柔弱根管藻(2.1%)	
2009	15	12	-	-	13	-	20	13.3	高盒形藻(45.2%)、紧密角管藻 (22.5%)、中肋骨条藻(9.5%)	宁波市海洋与 渔业局 ^[11]
2010	19	13	-	-	15	-	29	15.7	琼氏圆筛藻(40.5%)、洛氏角毛藻 (18.9%)、紧密角管藻(11.7%)	

注: - 表示未观测或无相关数据(表 3 同), 括号内数据为所占总细胞密度的百分比

表 3 2005~2010 年象山港两电厂厂址前沿附近海域夏季浮游植物种类数的变化情况^[12-13]

Tab. 3 Variation of phytoplankton species number in surrounding waters in front of two power plants in Xiangshan Bay in summer from 2005 to 2008

电厂名称	种类(种)					
	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
国华宁海电厂	71(运营前)	56(运营后)	51	39	43	42
大唐乌沙山电厂	-	101(运营前)	42(运营后)	46	41	70

3 结论

(1)根据 2006 年~2008 年夏季象山港西部海域的海洋调查资料,共获得浮游植物 54 种,其中硅藻占绝对优势,为 47 种,约占总种数的 87%;其他为甲藻 3 种、蓝藻 1 种和淡水藻 2 种。根据种类的生态习性区分,大致可分为河溪淡水性、外洋性广布种和沿岸内湾性三大生态类群,优势种主要有丹麦细柱藻、紧密角管藻、中肋骨条藻、琼氏圆筛藻等。

(2)从环境因子与种类数的相关性分析表明,对浮游植物种类数量影响最大的为透明度和化学需氧量,其次为活性磷酸盐,无机氮、盐度、水温相对最

小。浮游植物种类数与水温、盐度的相关性不显著,但存在正相关的趋势,与透明度存在显著的正相关,与化学需氧量和活性磷酸盐呈显著的负相关,与无机氮相关性不显著,但存在负相关的趋势。

(3)与历史资料的对比,调查海域浮游植物种类数存在明显年际差异。20 世纪 80 年代末调查海域夏季浮游植物种类数相对较少,10 年之后呈明显的增加趋势,2006 年达到最高峰。随后两年,尤其是象山港两电厂运营初期,调查海域浮游植物种类数呈逐年下降趋势,且下降幅度较大,与 2006 年相比下降幅度达 30%~40%,而后(2009 年、2010 年)又呈现一定的上升趋势,表明调查海域夏季浮游植物种类数

仍处于波动状态。

参考文献:

- [1] Poornima E H, Rajadurai M, Raob T S. Impact of thermal discharge from a tropical coastal power plant on phytoplankton[J]. *J Therm Biol*, 2005, 30(4): 307-316.
- [2] Guseva V P, Chebotina M Y. Changes in Plankton Abundance, Biomass, and Chemical Composition under the Influence of the Cooling System of the Beloyarsk Nuclear Power Plant[J]. *Ekologiya*, 2000, 31(1): 28-35.
- [3] Díaz-Pardo E, Vazquez G, López-López E. The phytoplankton community as a bioindicator of health conditions of Atezca Lake, Mexico[J]. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 1998, 1(3-4): 257-266.
- [4] 顾新根, 徐兆礼. 象山港中、西部浮游植物生态及赤潮研究[J]. *海洋与渔业*, 1993(5): 189-215.
- [5] 徐兆礼, 顾新根, 王云龙, 等. 象山港赤潮期浮游生物生态特征的分析[J]. *海洋通报*, 1992, 11(5): 46-53.
- [6] 刘子琳, 蔡昱明, 宁修仁. 象山港中、西部秋季浮游植物粒径分级、叶绿素和初级生产力[J]. *东海海洋*, 1998, 16(3): 18-24.
- [7] 杨红, 丁骏, 王春峰, 等. 象山港围隔生态系水质模型研究[J]. *海洋科学*, 2012 (7): 14-22.
- [8] 浙江省海岸带和滩涂资源综合调查报告编写委员会. 浙江省海岸带和滩涂资源综合调查[R]. 北京: 海洋出版社, 1988.
- [9] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志(第五分册)[M]. 北京: 海洋出版社, 1992, 217-218.
- [10] 黄秀清, 王金辉, 蒋小山, 等. 象山港环境容量及污染物总量控制研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.
- [11] 宁波市海洋与渔业局. 宁波市海洋与渔业环境监测成果汇编[R]. 宁波: 宁波市海洋与渔业局, 2010: 35-37.
- [12] 宁波市海洋环境监测中心. 象山港电厂群温排水及其对邻近海域生态环境影响的历史现状分析[R]. 宁波: 宁波市海洋环境监测中心, 2010: 42-43.
- [13] 宁波市海洋环境监测中心. 浙江大唐乌沙山发电厂址前沿海域海洋环境影响跟踪监测报告[R]. 宁波: 宁波市海洋环境监测中心, 2010: 55-56.
- [14] 孙军, 刘东艳, 柴心玉, 等. 莱州湾及潍河口夏季浮游植物生物量和初级生产力的分布[J]. *海洋学报*, 2002, 24(5): 81-88.
- [15] 刘东艳, 孙军, 钱树本, 等. 胶州湾浮游植物研究 II 环境因子对浮游植物群落结构变化的影响[J]. *青岛海洋大学学报*, 2002, 32(5): 415-420.
- [16] 程庆贤. 海洋环境污染的诸种影响[J]. *海洋科技资料*, 1981(1): 85-95.
- [17] 宋伦, 周遵春, 王年斌, 等. 辽东湾浮游植物多样性及与海洋环境因子的关系[J]. *海洋环境科学*, 2007, 26(4): 365-368.
- [18] 宁波市海洋与渔业局. 2001~2008年宁波市海洋环境质量公报[Z]. 宁波: 宁波市海洋环境监测中心, 2001-2008.
- [19] 陈慈美, 包建军, 吴瑜端. 纳污海域营养物质形态及含量水平与浮游植物增殖竞争关系 I. 磷的效应[J]. *海洋环境科学*, 1990, 9(1): 6-12.
- [20] 胡明辉, 杨逸萍, 徐春林, 等. 长江口浮游植物生长的磷酸盐限制[J]. *海洋学报*, 1989, 11(4): 439-443.
- [21] 章守宇, 刘莲, 杨红. 东海磷营养盐变动模型的建立与应用[J]. *水产学报*. 2003, 27(3): 265-272.
- [22] 廖一波, 陈全震, 曾江宁, 等. 海洋浮游植物的热效应[J]. *生态学报*, 2008, 28(9): 4204-4212.
- [23] 刘莲, 任敏, 陈丹琴, 等. 象山港乌沙山电厂附近海域的底栖生物状况[J]. *海洋环境科学*, 2008, 27(增刊1): 20-22.
- [24] 杨俊毅, 高爱根, 陈全震, 等. 拟建宁海电厂附近潮间带底栖生物群落生态[J]. *东海海洋*, 2004, 22(3): 48-55.
- [25] 林更铭, 杨清良. 三沙湾宁德火电厂周边海域初秋浮游植物的种类组成和数量分布[J]. *台湾海峡*, 2006, 25(2): 243-249.
- [26] 金腊华, 黄报远, 刘惠旋, 等. 湛江电厂对周围水域生态的影响分析[J]. *生态科学*, 2003, 22(2): 165-167.
- [27] 林昭进, 詹海刚. 大亚湾核电站温排水对邻近海域鱼卵、仔鱼的影响[J]. *热带海洋*, 2000(1): 44-51.

Studies on the ecology of phytoplankton in summer in western Xiangshan Bay I. Species composition and inter-annual variations

LIU Lian, REN Min, HUA Min-min, WANG Yu-chu, CAO Wei, YANG Yao-fang, QIU Wu-sheng

(Ningbo marine environment monitoring center, state oceanic administration, Zhejiang, Ningbo, 305012, China)

Received: Feb., 11, 2012

Key words: Xiangshan Bay; phytoplankton; summer; ecology; species

Abstract: Based on the survey of phytoplankton net in western Xiangshan Bay (west of 121°37'E, 29°40'N) in summer (Jul.~Aug.) from 2006 to 2008, the species composition, distribution, annual variations of phytoplankton and the relations to environmental factors were analyzed in this paper. The results showed that 54 species of phytoplankton were identified including 48 species of Diatoms predominating absolutely over the others. There were three eco-groups, including freshwater rivers and streams, pelagic and widely distributed species and along the inner bay of eco-groups. The dominant species were *Leptocylindrus danicus*, *Cerataulina compacta*, *Skeletonema costatum*, and *Coscinodiscus jondsiarus*, et al. Based on analysis of the correlations between species number of phytoplankton and physical-chemical factors, it suggested that the transparency and COD impacted the species of phytoplankton most significantly, followed by $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$. While DIN, salinity and water temperature had relative little impact on it. By comparison with historical data, it indicated that there were significant inter-annual variations and this fluctuation situation still remains now.

(本文编辑: 张培新)