

文章编号: 1674 - 5566(2011)03 - 0445 - 06

## 海州湾人工鱼礁区浮游植物与环境因子关系的研究

杨 柳<sup>1</sup>, 张 硕<sup>1,2</sup>, 孙满昌<sup>1</sup>, 张 虎<sup>3</sup>

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 大洋渔业资源可持续发展省部共建教育部重点实验室, 上海 201306; 3. 江苏省海洋水产研究所, 江苏 南通 226007)

**摘 要:** 于2008年对海州湾人工鱼礁区进行了3个航次的理化因子和生物资源调查, 应用CANOCO4.5软件对获得的浮游植物数据和环境因子数据进行典范对应分析(canonical correspondence analysis), 作出物种与环境因子关系的二维排序图。根据环境因子与排序轴的相关系数, 认为影响这一海区浮游植物分布的主要环境因子依次为总无机氮、水温和透明度。主要浮游植物优势种牟勒氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri*)和浮动弯角藻(*Eucampia zoodiacus*)的分布与磷酸盐密切相关, 这些优势种在鱼礁区和对照区数量上的差异导致了鱼礁区浮游植物数量要高于对照区。

水体中浮游植物种类繁多, 其种类组成和数量分布与环境因子之间存在密切的关系<sup>[1]</sup>。可应用多种统计方法, 如主成分分析、多元线性回归分析和典范对应分析等对浮游植物群落与环境因子关系进行分析<sup>[2-4]</sup>。其中, 典范对应分析具有能同时结合多个环境因子分析生物与环境因子间复杂关系、包含的信息量大、结果直观明确等优点, 从而能更好地反映浮游植物群落与环境因子之间的关系<sup>[5-6]</sup>。目前已有许多学者将其应用于陆生植物生态学领域, 而对于海洋浮游植物的研究却甚少。同时, 以往对于鱼礁生态修复效果的研究多是通过渔业资源来体现<sup>[7]</sup>。本文将根据海州湾人工鱼礁区浮游植物群落和环境参数调查资料, 综合考虑食物链底层的浮游植物的分布和海洋环境因子的关系, 运用典范对应

**研究亮点:** 目前将种浮游植物种类组成和数量分布与环境因子之间的关系应用于海洋浮游植物的研究中甚少。同时, 以往对于鱼礁生态修复效果的研究多是通过渔业资源来体现。根据海州湾人工鱼礁区浮游植物群落和环境参数调查资料, 综合考虑食物链底层的浮游植物的分布和海洋环境因子的关系, 运用典范对应分析来探讨鱼礁生态修复的机理, 为海州湾人工鱼礁区的相关建设提供参考。

**关键词:** 浮游植物; 环境因子; 典范对应分析; 海州湾

**中图分类号:** S 931.3

**文献标志码:** A

分析来探讨鱼礁生态修复的机理, 为海州湾人工鱼礁区的相关建设提供参考。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 研究海域及取样方法

在海州湾人工鱼礁区(34°51'36" ~ 34°55'48" N, 119°25'12" ~ 119°34'48" E)共设8个站位(其中鱼礁区6个, 对照区2个), 于2008年5月、8月和11月进行了3个航次的采样调查。浮游植物样品的采集采用国际标准20号(孔径0.076 mm)筛绢制成的浅水Ⅲ型浮游生物网(网口直径为37 cm, 网长1.4 m), 用绞车自海底到水面垂直拖取, 起网速度为0.5 m/s。采集的样品用缓冲甲醛溶液固定保存, 固定好的样品带回实验室经浓缩后在显微镜下进行种类鉴定和数量统计。

收稿日期: 2010-08-09 修回日期: 2011-01-13

基金项目: 国家“八六三”计划项目(2006AA100303); 上海市教育委员会科研创新项目(09YZ272); 农业部转产专业项目(技09-0065); 上海市高校第五期海洋环境工程重点学科(J50702)

作者简介: 杨 柳(1985—), 男, 硕士研究生, 研究方向为海洋生物生态学研究。E-mail: lishunsh@yahoo.com.cn

通讯作者: 张 硕, E-mail: s-zhang@shou.edu.cn

环境因子指标虽然分表层两层采集,考虑到表层指标与浮游植物有较大的关系,实际分析时采用的是表层指标。测定的环境因子包括:水温、透明度、盐度、溶解氧、BOD、COD、 $PO_4$ -P、TIN 和  $SiO_3$ -Si 共 9 个。样品的采集和分析均按《海洋调查规范》(GB12763 - 2007)、《海洋监测规范》(GB17378) 进行。

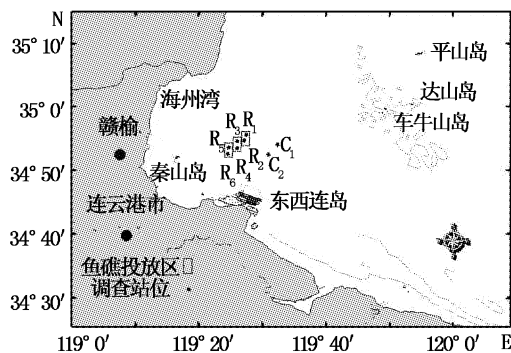


图1 调查站位图 ( $R_1$ - $R_6$  表示鱼礁区站位,  $C_1$ - $C_2$  表示对照区站位)

Fig. 1 Sample stations ( $R_1$ - $R_6$ : reef area stations,  $C_1$ - $C_2$ : control area stations)

## 1.2 数据处理

采用 Canoco for Windows 4.5 软件对物种数据和环境数据进行 CCA 分析。为了得到更理想的排序结果,物种数据按下面两个条件进行筛选:①该物种在各站位出现的频度  $> 12.5\%$ , ②该物种在至少一个站位的相对密度  $\geq 1\%$  [8-9]。物种矩阵经过  $\lg(x+1)$  转换,环境数据也进行  $\lg(x+1)$  转换 [10], 利用软件包中的 Wcanolmp 将其分别生成名为 spe. dta 和 env. dta 的文件。应用 Canoco for Windows 4.5 进行运算,将生成的后缀名为 cdw 的数据文件在 Canodraw for Windows 中作图,排序结果用物种—环境因子关系的双序图表示 [11]。

## 2 结果

### 2.1 浮游植物种类组成与数量分布

调查期间,共鉴定到浮游植物 46 种,分隶属于 3 门 21 属。其中,硅藻门最多,为 39 种,占 84.8%;甲藻门 6 种,占 13.0%;金藻门最少,仅有 1 种,占 2.2%。5 月份各个站位的主要优势种有:夜光藻 (*Noctiluca scintillans*)、辐射圆筛藻 (*Coscinodiscus radiatus*) 以及弓束圆筛藻

(*Coscinodiscus curvatulus*);除站位  $R_5$  的第一优势种为夜光藻 (*Noctiluca scintillans*) 外,其它站位的第一优势种均为辐射圆筛藻 (*Coscinodiscus radiatus*)。8 月份各个站位的主要优势种有:三角角藻 (*Ceratium tripos*)、长角角藻 (*Ceratium macroceros*) 以及夜光藻 (*Noctiluca scintillans*);8 个站位的第一优势种均为三角角藻 (*Ceratium tripos*)。11 月份各个站位的主要优势种有:牟勒氏角毛藻 (*Chaetoceros muelleri*)、浮动弯角藻 (*Eucampia zoodiacus*)、窄隙角毛藻 (*Chaetoceros affinis*) 以及密联角毛藻 (*Chaetoceros densus*) 等;站位  $R_1$  和  $R_2$  的第一优势种为牟勒氏角毛藻 (*Chaetoceros muelleri*), 站位  $R_3$  的第一优势种为窄隙角毛藻 (*Chaetoceros affinis*), 站位  $R_4$  -  $R_6$  的第一优势种为浮动弯角藻 (*Eucampia zoodiacus*), 站位  $C_1$  和  $C_2$  的第一优势种分别为辐射圆筛藻 (*Coscinodiscus radiatus*) 和牟勒氏角毛藻 (*Chaetoceros muelleri*)。

浮游植物平均数量为  $1.33 \times 10^5$  个/ $m^3$ , 最高值出现在 11 月的  $R_4$  站位,达  $1.18 \times 10^6$  个/ $m^3$ ;最低值为 5 月  $C_1$  站位的  $1.61 \times 10^3$  个/ $m^3$ 。5 月份鱼礁区浮游植物数量均值为  $6.19 \times 10^3$  个/ $m^3$ , 对照区为  $3.55 \times 10^3$  个/ $m^3$ ;8 月份鱼礁区浮游植物数量均值为  $6.21 \times 10^4$  个/ $m^3$ , 对照区为  $3.16 \times 10^4$  个/ $m^3$ ;11 月份鱼礁区浮游植物数量均值为  $4.36 \times 10^5$  个/ $m^3$ , 对照区为  $1.07 \times 10^5$  个/ $m^3$ 。

### 2.2 环境因子

海州湾人工鱼礁区各个站位的环境因子数据如表 1 所示。透明度在 1.25 ~ 3.93 m 之间,11 月  $R_5$  站位的透明度最低,而 8 月  $C_2$  站位最高。溶解氧以 8 月  $R_3$  站位最低,而以 11 月  $C_2$  站位最高。生物需氧量和化学需氧量均在 8 月  $C_2$  站位出现最低值,分别为 0.10 mg/L 和 0.90 mg/L。总无机氮在 0.115 ~ 0.513 mg/L 之间,最高值出现在 5 月的  $C_1$  站位,最低值出现在 8 月  $C_1$  站位。活性磷酸盐在 0.005 ~ 0.025 mg/L 之间变化,其最高值出现在 11 月  $R_4$  站位,最低值出现在 8 月  $C_1$  站位。硅酸盐的最高值为 5 月  $R_5$  站位的 0.809 mg/L,最低值为 11 月  $R_2$  站位的 0.021 mg/L。各个月份的透明度和溶解氧均表现为鱼礁区低于对照区,营养盐浓度整体上表现为鱼礁区高于对照区。

表 1 各调查站位环境因子数据  
Tab. 1 Environmental factors of sample stations

月份	站位	透明度 /m	水温 /℃	DO /(mg/L)	BOD /(mg/L)	COD /(mg/L)	盐度	TIN /(mg/L)	PO <sub>4</sub> -P /(mg/L)	SiO <sub>3</sub> -Si /(mg/L)	N/P
5 月	R <sub>1</sub>	2.10	16.20	8.80	2.14	3.75	30.31	0.312	0.014	0.555	49.35
	R <sub>2</sub>	2.16	17.40	8.61	2.03	4.52	30.32	0.298	0.014	0.702	47.13
	R <sub>3</sub>	2.18	18.40	9.02	1.89	1.24	30.29	0.233	0.014	0.434	36.85
	R <sub>4</sub>	1.30	17.20	8.29	0.97	4.29	29.94	0.334	0.015	0.414	49.30
	R <sub>5</sub>	1.50	17.00	8.72	2.50	4.40	29.92	0.354	0.014	0.809	55.99
	R <sub>6</sub>	1.40	16.40	8.20	2.32	2.09	29.86	0.370	0.016	0.588	51.21
	C <sub>1</sub>	2.60	16.50	9.00	2.51	3.36	30.19	0.513	0.013	0.354	87.38
	C <sub>2</sub>	2.30	17.20	8.69	1.36	4.29	30.13	0.195	0.012	0.441	35.98
8 月	R <sub>1</sub>	3.40	27.80	8.61	0.19	1.13	29.93	0.142	0.007	0.203	44.92
	R <sub>2</sub>	3.50	27.80	8.57	0.74	1.18	29.72	0.227	0.007	0.137	71.81
	R <sub>3</sub>	3.60	26.80	7.11	0.24	2.35	29.65	0.251	0.006	0.250	92.63
	R <sub>4</sub>	3.56	26.60	7.13	0.12	1.37	29.21	0.188	0.007	0.085	59.47
	R <sub>5</sub>	3.50	26.80	6.65	0.11	0.96	30.18	0.161	0.007	0.117	50.93
	R <sub>6</sub>	3.50	27.60	6.96	0.15	1.12	30.26	0.272	0.011	0.342	54.75
	C <sub>1</sub>	3.91	27.80	7.57	0.17	1.14	30.34	0.115	0.005	0.097	50.93
	C <sub>2</sub>	3.93	28.20	7.86	0.10	0.90	30.37	0.190	0.005	0.117	84.14
11 月	R <sub>1</sub>	1.60	16.80	9.10	0.97	4.70	29.79	0.330	0.010	0.167	73.07
	R <sub>2</sub>	1.55	16.80	8.37	1.24	5.08	30.20	0.187	0.013	0.021	31.85
	R <sub>3</sub>	1.50	16.00	8.77	0.99	4.66	30.11	0.361	0.020	0.122	39.97
	R <sub>4</sub>	1.30	14.40	8.87	0.25	4.44	30.02	0.319	0.025	0.082	28.25
	R <sub>5</sub>	1.25	15.20	8.20	0.53	4.86	29.85	0.233	0.023	0.080	22.43
	R <sub>6</sub>	1.30	15.20	9.23	1.44	2.75	29.90	0.212	0.025	0.342	18.78
	C <sub>1</sub>	1.80	17.20	9.50	0.91	1.56	30.06	0.172	0.014	0.273	27.20
	C <sub>2</sub>	1.90	16.40	9.58	0.47	3.85	30.15	0.210	0.013	0.141	35.77

### 2.3 浮游植物与环境因子关系的 CCA 分析

排序结果表明,环境因子轴和物种排序轴之间的相关系数分别为 0.947 和 0.924,前两个排序轴的累积贡献率达 74.6%,而且两个环境排序轴的相关系数为 0,说明前两个排序轴能在很大程度上反映浮游植物种类与环境间的关系,排序结果是可信的<sup>[12]</sup>。

由表 2 可知,在 CCA 排序图中总无机氮与第一排序轴成最大正相关,相关系数为 0.857 4,其次为水温,相关系数为 0.768 0,溶解氧含量与第一排序轴成最大负相关,相关系数为 -0.671 3,其次为磷酸盐,相关系数为 -0.629 3;与第二排序轴成最大正相关的环境因子为生物需氧量,相关系数为 0.714 8,其次为活性硅酸盐,相关系数为 0.633 8,而与第二排序轴成最大负相关的环境因子为水温,相关系数为 -0.450 3。

表 2 环境因子与前两个排序轴间的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients of environmental factors and first two axes of CCA

环境因子	排序轴	
	1	2
TEM	0.768 0***	-0.450 3*
DO	-0.671 3***	0.319 5
BOD	-0.139 8	0.714 8***
COD	-0.622 6***	0.317 4
TIN	0.857 4***	0.270 1
PO <sub>4</sub> -P	-0.629 3***	0.148 4
TRA	0.763 6***	-0.377
SAL	0.028 4	0.225 3
SiO <sub>3</sub> -Si	0.370 6	0.633 8***

注: \* 为  $P < 0.05$ , \*\* 为  $P < 0.01$ , \*\*\* 为  $P < 0.001$ 。

海州湾人工鱼礁区浮游植物种类与环境因子的二维排序结果见图 2。用于排序的浮游植物种名录见表 3。排序图中位于右上方的物种有:

长海毛藻 (*Thalassiothrix longissima*)、辐射圆筛藻 (*Coscinodiscus radiatus*)、弓束圆筛藻 (*Coscinodiscus curvatulus*)、夜光藻 (*Noctiluca scintillans*)。从图中可以看出这些物种之间的距离相对较大,这说明它们之间的分布差异程度较大,它们对硅酸盐需求量相差较大。其中弓束圆筛藻 (*Coscinodiscus curvatulus*)、以及长海毛藻 (*Thalassiothrix longissima*) 对硅酸盐的需求要高于另外两个物种。主要分布于硅酸盐含量高的海水中。同时这几个物种对于无机氮的需求量也较大。而星脐圆筛藻 (*Coscinodiscus asteromphalus*) 和圆筛藻 (*Coscinodiscus sp.*) 与生物需氧量有很大的相关性。

位于左边的刚毛根管藻 (*Rhizosolenia setigera*)、柔弱根管藻 (*Rhizosolenia delicatula*)、翼根管藻 (*Rhizosolenia alata*)、印度翼根管藻 (*Rhizosolenia alata f. indica*)、密联角毛藻 (*Chaetoceros densus*)、牟勒氏角毛藻 (*Chaetoceros muelleri*)、窄隙角毛藻 (*Chaetoceros affinis*)、柔弱菱形藻 (*Nitzschia delicatissima*)、布氏双尾藻 (*Ditylum brightwellii*)、浮动弯角藻 (*Eucampia zoodiacus*)、细弱圆筛藻 (*Coscinodiscus subtilis*)、膜状舟形藻 (*Navicula membranacea*) 对磷酸盐的需求较高,同时它们的分布与溶解氧和化学需氧量也有很大相关性。

位于右下方的物种有长角角藻 (*Ceratium macroceros*)、纺锤角藻 (*Ceratium fusus*)、叉状角藻 (*Ceratium furca*)、三角角藻 (*Ceratium tripos*) 和四角网硅鞭藻 (*Dictyocha fibula*)。从它们所处的位置可以看出,这些物种与海水温度和海水透明度有很大的相关性,它们对温度和光照的要求比较严格<sup>[13]</sup>。

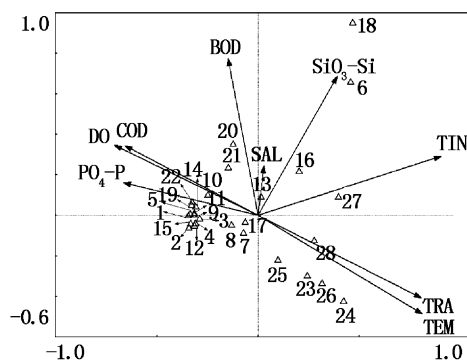


图2 海州湾人工鱼礁区浮游植物物种与环境因子关系的二维排序图

Fig. 2 CCA biplot of phytoplankton species and environmental factors in artificial reef area of Haizhou Bay

TRA. 透明度; TEM. 水温; DO. 溶解氧; BOD. 生物需氧量; COD. 化学需氧量; SAL. 盐度; TIN. 总无机氮; PO<sub>4</sub>-P. 磷酸盐; SiO<sub>3</sub>-Si. 硅酸盐。

表3 用于 CCA 排序的浮游植物名录  
Tab. 3 The list of phytoplankton for CCA

代码	中文名	拉丁学名	代码	中文名	拉丁学名
1	刚毛根管藻	<i>Rhizosolenia setigera</i>	15	浮动弯角藻	<i>Eucampia zoodiacus</i>
2	柔弱根管藻	<i>Rhizosolenia delicatula</i>	16	辐射圆筛藻	<i>Coscinodiscus radiatus</i>
3	翼根管藻	<i>Rhizosolenia alata</i>	17	格氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus granii</i>
4	印度翼根管藻	<i>Rhizosolenia alata f. indica</i>	18	弓束圆筛藻	<i>Coscinodiscus curvatulus</i>
5	中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i>	19	细弱圆筛藻	<i>Coscinodiscus subtilis</i>
6	长海毛藻	<i>Thalassiothrix longissima</i>	20	星脐圆筛藻	<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>
7	菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	21	圆筛 SP	<i>Coscinodiscus sp.</i>
8	中华盒形藻	<i>Biddiuphia sinensis</i>	22	膜状舟形藻	<i>Navicula membranacea</i>
9	密联角毛藻	<i>Chaetoceros densus</i>	23	长角角藻	<i>Ceratium macroceros</i>
10	牟勒氏角毛藻	<i>Chaetoceros muelleri</i>	24	纺锤角藻	<i>Ceratium fusus</i>
11	窄隙角毛藻	<i>Chaetoceros affinis</i>	25	叉状角藻	<i>Ceratium furca</i>
12	柔弱菱形藻	<i>Nitzschia delicatissima</i>	26	三角角藻	<i>Ceratium tripos</i>
13	近缘曲舟藻	<i>Pleurosigma affine</i>	27	夜光藻	<i>Noctiluca scintillans</i>
14	布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i>	28	四角网硅鞭藻	<i>Dictyocha fibula</i>

### 3 讨论

2008 年的 3 次调查共鉴定到浮游植物 3 门, 46 种(属), 调查期内鱼礁区浮游植物月平均数量为  $1.58 \times 10^5$  个/ $m^3$ , 对照区为  $5.76 \times 10^4$  个/ $m^3$ 。从海州湾浮游植物优势种来看, 5 月份主要优势种包括有总无机氮需求较高的夜光藻 (*Noctiluca scintillans*) 以及磷酸盐需求比较高的辐射圆筛藻 (*Coscinodiscus radiatus*) 和弓束圆筛藻 (*Coscinodiscus curvatulus*)。8 月份主要优势种为与水温透明度密切相关的三角角藻 (*Ceratium tripos*)、长角角藻 (*Ceratium macroceros*)。11 月份主要优势种为与磷酸盐有很大相关性的牟勒氏角毛藻 (*Chaetoceros muelleri*)、浮动弯角藻 (*Eucampia zoodiacus*)、窄隙角毛藻 (*Chaetoceros affinis*) 等。

从环境因子与排序轴的相关系数来看, 影响海州湾人工鱼礁区浮游植物分布的主要环境因子依次为总无机氮、水温和透明度, 而溶解氧和生物需氧量也对浮游植物的分布有较大影响。不同海区具有不同的主要影响因子, 如栎青杉等<sup>[14]</sup>对长江口水域的研究表明影响长江口水域浮游植物分布的主要环境因子依次为透明度、硝酸盐和硅酸盐。

从优势种的分析来看, 对海州湾浮游植物主要优势种牟勒氏角毛藻 (*Chaetoceros muelleri*) 和浮动弯角藻 (*Eucampia zoodiacus*) 影响较大的环境因子有总无机氮、透明度以及磷酸盐, 其中磷酸盐的影响最大, 在磷酸盐含量相对较高的区域这两种藻分布较多。同时, 这些主要优势种与总无机氮梯度呈负相关, 在该海区不会受到无机氮的限制。

鱼礁区和对照区的浮游植物种类及优势种种类都差异甚微。但是在数量上鱼礁区浮游植物的平均数量要高于对照区, 前者约为后者的 2.7 倍, 这一结果是由 11 月份鱼礁区和对照区主要优势种数量上的差异决定的。这些优势种与磷酸盐有很大正相关性, 因此, 鱼礁效应带来的鱼礁区和对照区磷酸盐含量的差异对海州湾人工鱼礁区浮游植物的数量分布影响最大。此外, 从氮、磷的原子比来看, 海州湾人工鱼礁区各个站位的 N/P 比值在 18.77 ~ 92.63 之间, 均值为 50.00, 说明调查海域浮游植物的生长繁殖受到

无机磷的限制<sup>[15]</sup>, 这也进一步说明了无机磷含量相对较高的鱼礁区的浮游植物数量要高于对照区。

在对海州湾浮游植物群落和环境因子调查的基础上, 应用典范对应分析对大量的数据进行直接梯度排序, 可以用于分析海州湾主要浮游植物物种对环境因子的响应, 为该海域的浮游植物群落研究提供了一种新的工具。另外, 由于生态环境的复杂性, 除主要的环境因子外, 浮游动物的下行效应等在很大程度上也影响着浮游植物的群落结构<sup>[16]</sup>, 这些都有待于进一步的研究。

### 参考文献:

- [1] LEPISTÖ L, HOLOPAINEN A L, VUORISTO H. Type-specific and indicator taxa of phytoplankton as a quality criterion for assessing the ecological status of finnish boreal lakes [J]. *Limnologia- Ecology and Management of Inland Waters*, 2004, 34(3): 236 - 248.
- [2] BERNARD P, ANTOINE L, BERNARD L. Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management application to a tropical lake system [J]. *Ecological Modelling*, 2004, 178(3/4): 295 - 311.
- [3] 徐虹, 黄祖英, 魏爱泓. 海州湾浮游植物总量的多元分析 [J]. *海洋环境科学*, 2009, 28(1): 26 - 27.
- [4] ABRANTES N, ANTUNES S. C, PEREIRA M. J. et al. Seasonal succession of cladocerans and phytoplankton and their interactions in a shallow eutrophic lake (Lake Vela, Portugal) [J]. *Acta Oecologica*, 2006, 29(1): 54 - 64.
- [5] HABIB O A, TIPPETT R, MURPHY K. J. Seasonal changes in phytoplankton community structure in relation to physico-chemical factors in Loch Lomond, Scotland [J]. *Hydrobiologia*, 1997, 350(1): 63 - 79.
- [6] 李秋华, 韩博平. 基于 cca 的典型调水库浮游植物群落动态特征分析 [J]. *生态学报*, 2007, 27(6): 2355 - 2364.
- [7] 孙习武, 张硕, 赵裕青, 等. 海州湾人工鱼礁海域鱼类和大型无脊椎动物群落组成及结构特征 [J]. *上海海洋大学学报*, 2010, 19(4): 505 - 513.
- [8] LOPES M R M, BICUDO C E M, FERRAGUT M C. Short term spatial and temporal variation of phytoplankton in a shallow tropical oligotrophic reservoir, southeast Brazil [J]. *Hydrobiologia*, 2005, 542(1): 235 - 247.
- [9] MUYLEAERT K, SABBE K, VYVERMAN W. Spatial and temporal dynamics of phytoplankton communities in a freshwater Tidal Estuary (Schelde, Belgium) [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, 50(5): 673 - 687.
- [10] NG L S, SIN F S. A diatom model for inferring sea level change in the coastal waters of Hong Kong [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2003, 30(4): 427 - 440.

- [11] 魏玉莲,姬兰柱,王森,等. 长白山北坡静水水体中水甲虫分布与环境关系的典范对应分析[J]. 应用生态学报, 2002,13(1): 91-94.
- [12] TERBRAAK,CAJO J F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis[J]. Ecology, 1986,67(5): 1167-1179.
- [13] BRAND L E, GUILLARD R R L. The effects of continuous light and light intensity on the reproduction rates of twenty-two species of marine phytoplankton[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1981,50(2/3): 119-132.
- [14] 栾青杉,孙军,宋书群,等. 长江口夏季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析[J]. 植物生态学报, 2007, 31(3): 445-450.
- [15] 王俊. 渤海近岸浮游植物种类组成及其数量变动的研究[J]. 海洋水产研究, 2003,24(4):44-50.
- [16] 林小苹,黄长江,杜虹. 粤东柘林湾中肋骨条藻与环境因子的灰关联分析及其计算机实现[J]. 海洋技术 2004,23(4): 58-61.

## The research of relationships between phytoplankton and environmental factors in artificial reef area of Haizhou Bay

YANG Liu<sup>1</sup>, ZHANG Shuo<sup>1,2</sup>, SUN Man-chang<sup>1</sup>,ZHANG Hu<sup>3</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Marine Fisheries Research Institution of Jiangsu, Nantong 226007, Jiangsu, China)

**Abstract:** By using canonical correspondence analysis (CCA), this paper studied the relationship between phytoplankton species and its environmental factors. The species-environment biplots were drawn based on the result of CCA. The result showed that total inorganic nitrogen, water temperature and transparency were the most important factors influencing the distribution of phytoplankton species. The distribution of main dominant phytoplankton species *Chaetoceros muelleri* and *Eucompia zodiacus* correlated strongly with phosphate. CCA can be a useful tool to understand the spatial distribution of phytoplankton species in marine ecosystems.

**Key words:** phytoplankton; environmental factor; canonical correspondence analysis; Haizhou Bay