

文章编号:1000 - 0615(2005)03 - 0379 - 07

考洲洋浮游植物种类组成与数量分布特征

李纯厚, 林 钦, 蔡文贵, 贾晓平, 甘居利, 王增焕, 戴 明

(中国水产科学研究院南海水产研究所农业部渔业生态环境重点开放实验室, 广东 广州 510300)

摘要:为了科学评价考洲洋海洋生态养殖示范区的渔业生态环境质量状况,1999年2月和8月对该湾浮游植物的种类组成及数量分布进行了调查研究,结果表明,调查海域共出现浮游植物188种,分属硅藻142种、甲藻22种、蓝藻5种、绿藻18种和裸藻1种共5大门类,硅藻是主要优势类群。种类组成以淡水、咸淡水的沿岸性种类为主,其区域分布和季节变动特征与调查海域海水盐度变动规律趋势一致。枯水期优势种有明显的区域差异,主要优势种为翼根管藻纤细变型、洛氏角毛藻和奇异菱形藻;丰水期优势种较为单一,大片海域均以中肋骨条藻和热带骨条藻为主要优势种,优势指数平均达95.8%,湾西北部海域则以银灰平列藻和中肋骨条藻为主要优势种。浮游植物群落多样性指数显示明显的季节和区域差异,呈现枯水期明显高于丰水期,西北部明显高于东南部趋势。浮游植物密度以丰水期明显高于枯水期,东南部海域明显高于西北部海域;丰水期平均密度达到 $26\,471.3 \times 10^4 \text{ ind } \text{m}^{-3}$,是枯水期的66.2倍;平面分布的季节变化显示明显差异,枯水期以东北部的吉隆河口和东南入海水道数量较高,而丰水期则表现为明显的自西北部向东南部海域递增的趋势。

关键词:考洲洋;浮游植物;种类组成;数量分布

中图分类号:S932.7;Q178.53 **文献标识码:**A

Characteristics of species composition and quantity distribution of phytoplankton in Kaozhouyang Bay

LI Chun-hou, LIN Qin, CAI Wen-gui, JIA Xiao-ping, GAN Ju-li, WANG Zeng-huan, DAI Ming

(Key Laboratory of Fishery Ecology Environment Certificated by Ministry of Agriculture, South China Sea Fishery Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Kaozhouyang Bay is a typical semi-closed bay extended to the inland from Honghai Bay in South China Sea, which covers 29.7 km^2 of total water area and 13.73 km^2 of beach area with the unique natural environment and predominant resource condition inside the bay. Being ranked to be the ecological mariculture demonstration area in Guangdong Province, the bay was abundant in some special culturing species such as the famous "Tiechong Hao" (one species of oyster). However, due to the lacking of planning program and scientific management, the phenomenon of disorderly development and over-utilization with the fishery multiculture in the waters of the bay in the recent years resulted in the frequent occurrences of fish diseases and then, to some extent, hampered the continual development of the fishery multiculture in Kaozhou Bay. In order to protect the ecological environment inside the bay, a survey on the ecological environment was carried out from 1999 to 2000. This paper reported the characteristics of the species composition and quantity distribution of phytoplankton in the bay. According to the result, altogether 188 species were identified in the survey waters, which belonged to 5 phyla with 142 species of Bacillariophyta, 22 species of Pyrrophyta, 5 species of Cyanophyta, 18 species of Chlorophyta and 1 species of Euglenophyta. Of all the phyla, diatom was the main predominant group. The species composition mainly consisted of the coastal species of fresh and salty-fresh, and the horizontal distribution and seasonal variation accorded with the water salinity variation in the survey waters. In the dry season, the predominant species changed complicatedly with an obvious regional succession characteristic and great variation, and the main predominant species were *Rhizosolenia alata* f. *gracillima*, *Chaetoceros lorenzianus* and *Nitzschia paradoxa*. While in the wet season, the predominant species was simple, and most

收稿日期:2003-11-24

资助项目:国家“九五”科技攻关项目(96-008-03-04)

作者简介:李纯厚(1963-),男,湖南澧县人,研究员,主要从事渔业生态环境研究。Tel:020-84195173, E-mail:chun8828@vip.sina.com

of the waters was dominated by *Skeletonema costatum* and *S. tropicum* with the average predominant degree of 95.8%, and in the northwestern waters the predominant species changed to *Merismopedia glauca* and *Skeletonema costatum*. The seasonal variation and regional variation of the diversity index of phytoplankton were obvious and showed a trend that the dry season was higher than the wet season and the northwestern waters was higher than the southeastern waters. The mean cell density in the wet season reached to $26\,471.7 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, which was 66.2 times that of the dry season. The distribution of the cell density showed the increasing trend from the northwestern waters to the southeastern waters.

Key words: Kaozhouyang Bay; phytoplankton; species composition; quantity distribution

考洲洋为南海红海湾深入内陆的典型半封闭性浅水海湾,水域面积 29.7 km^2 ,滩涂面积 13.73 km^2 ,水深范围 $0.8 \sim 11.4 \text{ m}$,平均 2.2 m 。湾内自然环境独特,资源条件优越,被列为广东省海洋生态养殖示范区,著名的“铁涌蚝”等特色养殖品种一度享誉省内外。然而,由于缺乏统筹规划和科学管理,近年来,湾内水产增养殖业和水域利用出现了无序开发和过度利用现象,导致水产养殖病害频繁发生,一定程度上阻碍了考洲洋水产增养殖业的持续发展。为了统筹规划考洲洋水产增养殖产业的发展,维护湾内良好的生态环境,解决亚热带海湾水域开发利用中的有关科学问题,1999年对该湾生态环境进行了专项调查研究。黄洪辉等^[1]报道了该湾大型底栖生物的生态特征,梁超愉等^[2]研究了该湾潮间带生物种类组成与数量分布,杨美兰等^[3,4]分析了该湾水域的 COD 和底质中的硫化物含量与分布特征,甘居利等^[5]测定和评价了湾内表层沉积物中的重金属及其污染状况等,但对该湾浮游植物的生态特征仍未见有报道。本文就湾内浮游植物的种类组成与数量分布特征进行分析和讨论。

1 材料和方法

分别于 1999 年 2 月(枯水期)和 8 月(丰水期)在考洲洋进行了浮游植物样品采集,调查海湾共设 12 个调查站位(图 1)。样品采用浅水 III 型浮游生物网(网长 140 cm ,网口直径 37 cm ,网口面积 0.1 m^2 ,筛绢规格 $77 \mu\text{m}$)自海底向海面垂直拖网。样品用甲醛溶液固定,浓度为 5%。固定样品带至实验室后水样静置 48 h,吸去上清液,浓缩至 100 mL 。分析时取均匀样品 0.1 mL 在光学显微镜下进行种类鉴定和计数,每样计数 2 次,取其平均值。

浮游植物的种类相似性指数、优势指数、多样性指数和均匀度分别采用以下公式计算:

$$\text{Jaccard 种类相似性指数 } J_s = \frac{c}{a + b - c} \times 100$$

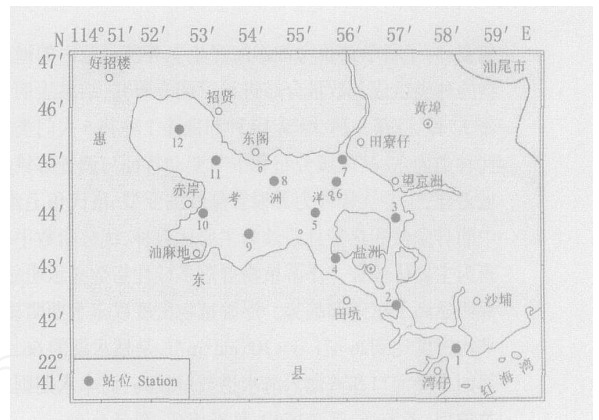


图 1 考洲洋浮游植物采样站位

Fig. 1 The sampling stations for phytoplankton in Kaozhouyang Bay

Mcnaughton 优势指数 $D = n_s / N_s$

Shannon & Weaver 多样性指数: $H = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^S n_i \log_2 \frac{n_i}{N}$

均匀度指数: $J = H / \log_2 S$

式中, a 为样本 A 的种类数, b 为样本 B 的种类数, c 为样本 A 和 B 共有种类数; n_s 为第 S 站某种浮游植物的数量, N_s 为第 S 站浮游植物总数量; n_i 为第 i 种的数量, N 为测站总数量, S 为测站总种类数。

2 结果

2.1 种类组成

本次调查共鉴定出硅藻、甲藻、蓝藻、绿藻和裸藻 5 门类共 188 种(包括变种和变型),其中硅藻最多,共 142 种,占总种数的 75.5%,甲藻次之,共 22 种,占 11.7%,绿藻 18 种,占 9.6%,其他蓝藻 5 种,裸藻 1 种,合占总种数的 3.2%。

调查显示,枯水期与丰水期出现种类数基本一致。枯水期共出现硅藻、甲藻、蓝藻、绿藻和裸藻 5 大门类 41 属 110 种(表 1)。种类组成以浮游和底栖性硅藻为主,采样站位中共出现 90 种,占总种数

的 81.8 %; 甲藻出现 17 种, 占总种数的 15.5 %; 其余 3 门类仅各出现 1 种。硅藻以角毛藻属 (16 种) 和菱形藻属 (14 种) 的种类为主, 甲藻则以角藻属种类较多。

丰水期共出现硅藻、甲藻、蓝藻、绿藻和裸藻 5 大门类 53 属 111 种, 仍以硅藻类种类出现最多,

共鉴定出硅藻 81 种, 分属 33 属, 出现种类数占总种数的 73.0 %; 其次是绿藻类, 共鉴定出 12 属 17 种, 占总种类数的 15.3 %; 甲藻出现 3 属 7 种, 占总种数的 6.3 %; 蓝藻类出现 4 属 5 种, 占总种类数的 4.5 %; 裸藻出现的种类数最少, 仅 1 属 1 种。

表 1 考洲洋浮游植物种类组成

Tab.1 The species composition of phytoplankton in Kaozhouyang Bay

	枯水期 dry season		丰水期 wet season	
	种数 species numbers	百分比 (%) percentage	种数 species numbers	百分比 (%) percentage
硅藻 Bacillariophyta	90	81.8	81	73.0
甲藻 Pyrrophyta	17	15.5	7	6.3
绿藻 Chlorophyta	1	0.9	5	4.5
蓝藻 Cyanophyta	1	0.9	17	15.3
裸藻 Euglenophyta	1	0.9	1	0.9
合计 total numbers	110	100	111	100.0
淡水种类 fresh species	7	6.4	35	31.5
咸淡水种类 saltv-fresh species	103	93.6	76	68.5

枯水期和丰水期浮游植物共有种类仅 32 种, 种类相似性指数为 16.9 %, 显示 2 个调查季节种类组成变化大, 具有明显的种类组成季节差异性。

调查海域出现的种类多以咸淡水、淡水和内湾性种类居多, 其中淡水种类在 2 个季节显示较大差异, 枯水期和丰水期淡水种类所占比例分别为 6.4 % 和 31.5 %, 丰水期淡水种类明显多于枯水期。尤其是湾内西北部养殖水域 (S11 和 S12 站), 其表现特征更为明显, 枯水期和丰水期淡水种类所占比例分别达到 8.2 % 和 35.3 %。

2.2 数量变化及分布

考洲洋浮游植物密度为 $87.0 \times 10^4 \sim 140\,098.4 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 平均 $13\,435.6 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 以丰水期密度明显高于枯水期。浮游植物密度的平面分布显示明显的季节差异, 枯水期以吉隆河口和湾口为较高密集区, 并呈现由此向湾内递减趋势, 丰水期则呈现明显的由湾口向湾内递减的分布趋势。

枯水期浮游植物栖息密度为 $87.0 \sim 2\,189.0 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 平均 $399.9 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 。湾内浮游植物密度分布较为均匀, 除吉隆河口附近水域及湾口至盐洲岛的狭长水道外, 大部分水域的浮游植物密度均低于 $500 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 。从各站数量分布看, 最高数量出现在吉隆河口的 S7 站, 数量达到 $2\,189.0 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$; 湾口水域为较高密集区, 细胞密度在 $600 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 左右变化; 湾内

牡蛎养殖区密度在 $108.0 \times 10^4 \sim 222.0 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 内波动 (图 2-a)。

调查海域浮游植物数量组成以硅藻类占绝对优势, 平均 $385.6 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 占总生物量的 96.4 %, 甲藻仅占 1.1 %, 其它藻类占 2.5 %。

丰水期浮游植物密度为 $102.3 \sim 140\,098.4 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 平均 $26\,471.3 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 。平面分布呈现明显的自东南向西北方向海域递减的趋势, 从湾口到盐洲的狭长水道内都超过 $5\,000 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 最高密集区分布在湾口 S1 ~ S2 站一带, 数量变化为 $103\,945.3 \times 10^4 \sim 140\,098.4 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 平均为 $122\,021.9 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$; 次高峰区分布在盐洲岛西南部和东北部海域, 数量变化为 $21\,605.0 \times 10^4 \sim 44\,405.6 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 平均为 $33\,005.3 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$; 湾内西北部牡蛎养殖区 S11、S12 为浮游植物生物量最低分布区, 细胞数量在 $102.3 \times 10^4 \sim 387.1 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 内波动, 平均 $269.0 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ (图 2-b), 与枯水期密度相当。浮游植物类群数量仍以硅藻占绝对优势, 平均 $26\,426.7 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 占总生物量的 99.8 %, 其它藻类仅占 0.2 %。浮游硅藻类栖息密度分布与浮游植物总量的分布特征一致, 均呈现自东南向西北海域递减的分布趋势; 而浮游甲藻栖息密度则呈点状分布特征, 盐洲岛东南部的 S2 站、湾内西南部的 S9 站、盐洲岛西北部的 S5 站和吉隆河口有较高数量的分布。

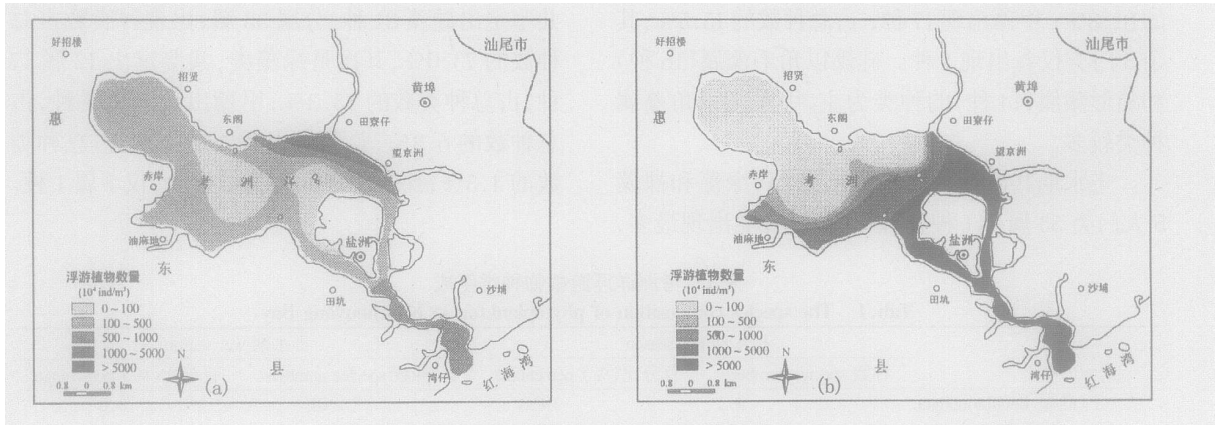


图2 考洲洋养殖水域浮游植物的数量分布

Fig. 2 The horizontal distribution for the cell densities of phytoplankton in Kaozhou Bay

a. 枯水期, b. 丰水期; a. dry season, b. wet season

特别值得指出的是,与枯水期相比,考洲洋西北部海域丰水期出现了蓝藻分布相对密集区,其数量为 $44.1 \times 10^4 \sim 216.8 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$,平均达到 $142.7 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$,占同海域浮游植物总量平均值的 52.2%。

2.3 主要优势种及区域变化

以优势指数大于 20.0% 为标准,调查期间主要优势种组成及分布列于表 2,显然,枯水期优势种变化较丰水期复杂。S1 站(湾口)经 S2、S4、到 S7 站,以角毛藻属种类为优势,翼根管藻纤细变型在 S1、S2 站占据次优势地位,优势指数变化范围 43.2% ~ 72.9%。湾内西北部牡蛎养殖区(即 S10、S11 和 S12 站)均以弯菱形藻中型变种占优势,其中 S11 和 S12 站出现奇异菱形藻次优势种类,优势指数范围 27.0% ~ 33.7%。S5 和 S8 站处于上 2 类优势类群的分布重叠区,角毛藻属种类和菱形藻属种类的优势指数分别为 33.5% ~ 40.7% 和 33.8% ~ 36.2%。银灰平裂藻(蓝藻)大量出现在 S3 站,优势指数达到 37.5%,居于优势地位;S6 站则出现较多的诺马斜纹藻和海生斑条藻,其优势指数分别为 27.5% 和 16.4%。

丰水期浮游植物优势种分布则主要呈现两个明显不同的区域。S8 站以东至湾口的大片海域,优势种组成单调且明显,均以中肋骨条藻和热带骨条藻为优势藻类,优势指数为 86.3% ~ 99.5%,平均达到 95.8%。调查海域的西北部,包括 S9 ~ S11 站一带,种类组成复杂,优势种表现不明显, S9 站呈现中间过渡带,优势种以中肋骨条藻为

主,但优势指数大为减小,仅为 23.6%;到 S10、S11 站一带海域,优势种逐渐转变为蓝藻类的银灰平裂藻,优势指数平均 26.2%,其次是中肋骨条藻,优势指数平均为 23.1%。

2.4 群落多样性

考洲洋浮游植物多样性指数和均匀度显示明显的季节差异。枯水期各测站的多样性指数为 2.55 ~ 4.28,平均 3.64(图 3-a),以湾口 S1 ~ S2 站一带多样性指数最低,湾内水域多样性指数为 3.38 ~ 4.49, S9 站最高, S5 和 S11 站次之。

调查海域均匀度变化值为 0.53 ~ 0.93,平均 0.79,均匀度高值区分布在考洲洋西北部 S9、S12、和 S11 站一带,其值在 0.89 ~ 0.93 内变化;均匀度低值区出现在湾口 S1 ~ S2 站海域,为 0.53 ~ 0.58;其它水域均匀度变化为 0.69 ~ 0.86;平均 0.79,显示群落结构较为稳定。

丰水期各测站多样性指数为 0.06 ~ 3.51,平均 1.37,远低于枯水期,尤其是 S8 号站以东大片海域,多样性指数为 0.06 ~ 1.35,平均仅 0.67;西北部牡蛎养殖区一带,多样性指数相对高于东南部海域,变化值为 2.82 ~ 3.51,平均 3.22。

浮游植物均匀度变化 0.01 ~ 0.83,平均 0.33,远较枯水期低。各测站变化趋势与多样性指数变化规律类似,均呈现两个明显不同的分布区域,即 S8 站以东的低值区和西北部的相对高值区。S8 站以东海域均匀度范围为 0.01 ~ 0.32,平均 0.16;西北部海域范围为 0.68 ~ 0.83,平均 0.77。

表 2 考洲洋浮游植物优势种组成及分布
Tab. 2 The composition and distribution of dominant phytoplankton in Kaozhouyang Bay

站号 stations	枯水期 dry season		丰水期 wet season	
	优势种 dominant species	优势指数 (%) dominant index	优势种 dominant species	优势指数 (%) dominant index
S1	翼根管藻纤细变型 <i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>lorenzianus</i> 、洛氏角毛藻 <i>Chaetoceros lorenzianus</i>	72.9	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> 、热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i>	99.5
S2	洛氏角毛藻 <i>Chaetoceros lorenzianus</i> 、翼根管藻纤细变型 <i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>lorenzianus</i>	55.4	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> 、热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i>	99.5
S3	银灰平裂藻 <i>Merismopedia glauca</i>	37.5	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> 、热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i>	99.1
S4	窄隙角毛藻等角变种 <i>Chaetoceros affinis</i> v. <i>willei</i> 、翼根管藻纤细变型 <i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>lorenzianus</i>	43.2	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> 、热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i>	99.0
S5	奇异菱形藻 <i>Nitzschia paradoxa</i> 、洛氏菱形藻 <i>N. lorenziana</i>	18.5	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> 、热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i>	97.4
S6	诺马斜纹藻 <i>Pleurosigma nomanii</i> 、海生斑条藻 <i>Grammatophora marina</i>	43.9	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> 、热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i>	95.2
S7	洛氏角毛藻 <i>Chaetoceros lorenzianus</i>	57.0	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> 、热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i>	86.3
S8	细弱角毛藻 <i>Chaetoceros subtilis</i> 、日本角毛藻 <i>Chaetoceros nipponica</i>	28.8	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> 、热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i>	90.0
S9	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> 、短孢角毛藻 <i>Chaetoceros brevis</i>	22.49	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	23.6
S10	弯菱形藻中型变种 <i>Nitzschia sigma</i> v. <i>intercedens</i>	28.8	银灰平裂藻 <i>Merismopedia glauca</i> ；中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	47.4
S11	弯菱形藻中型变种 <i>Nitzschia sigma</i> v. <i>intercedens</i> 、奇异菱形藻 <i>Nitzschia paradoxa</i>	27.0	银灰平裂藻 <i>Merismopedia glauca</i> ；中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	51.2
S12	弯菱形藻中型变种 <i>Nitzschia sigma</i> v. <i>intercedens</i> 、奇异菱形藻 <i>Nitzschia paradoxa</i>	33.7	/	/

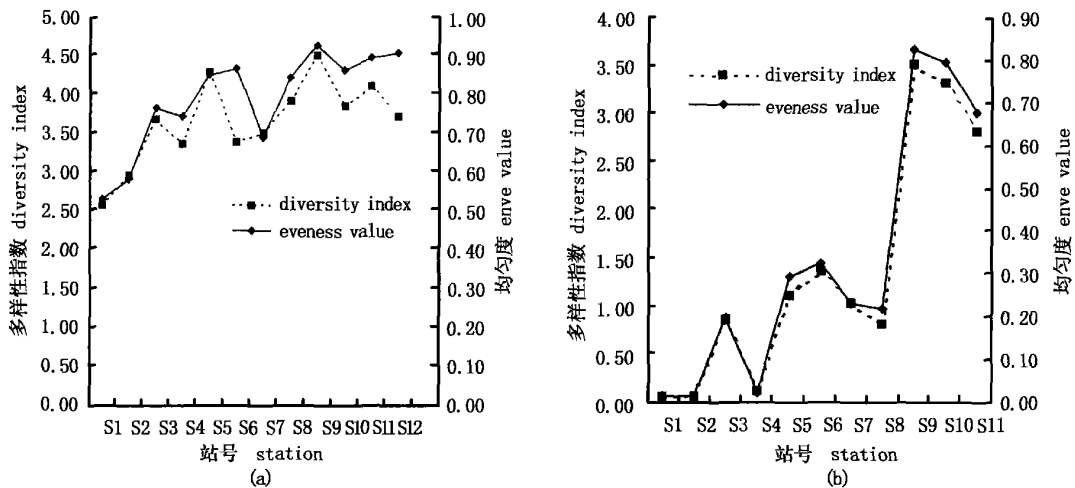


图 3 考洲洋浮游植物多样性指数和均匀度指数区域变化

Fig. 3 Horizontal distribution of diversity index and evenness value of phytoplankton in Kaozhouyang Bay
a. 枯水期, b. 丰水期; a. dry season, b. wet season

3 讨论

3.1 种类组成变化及季节演替

考洲洋浮游植物出现种类以淡水、咸淡水的沿岸性种类和底栖性种类为主,这与湾内海水盐度偏低和水质较浅特征一致,而枯水期与丰水期浮游植物的种类组成及优势种变化复杂,区域差异变化特征明显,显示了考洲洋近乎半封闭海湾独特的生态特征。枯水期,考洲洋水文环境基本稳定,海水盐度 26.58~29.97,平均 28.59,水温 18.4~22.7,平均 21.0,地表径流少,整个湾内生态系统处于一种相对稳态,湾内浮游植物种类组成及优势种与红海湾近岸水域基本一致^[6,7]。丰水期,水文环境呈现较大波动,海水盐度 3.00~21.06,平均 7.09,水温 27.3~30.0,平均 28.9,地表径流量明显增大,湾的西北部、吉隆河口(S7站附近)等近岸水域盐度接近淡水,整个湾内生态系统处于一个极为活跃的动态,受其影响,不同测站和不同区域的浮游植物种类组成发生明显变化,区域差异显著,特别是淡水性的蓝藻和绿藻出现较多种类,银灰平裂藻在湾西北部水域占据主要优势地位,这与其它海湾显示明显不同特征^[8-11]。

3.2 数量的分布与季节变化

调查表明,考洲洋浮游植物栖息密度丰水期平均达到 $26\,471.3 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$,是枯水期平均数量的 66.2 倍,平面分布则表现为自西北部向东南部海域递增的趋势。林钦等^[12]研究指出,考洲洋海域枯水期的 DIN 含量为 $0.82 \sim 5.7 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,平均 $2.12 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量为 $0 \sim 0.11 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,平均 $0.01 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,NQi 值为 $0.5 \sim 0.8$,平均为 0.59;而丰水期 DIN 含量为 $4.36 \sim 11.49 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,平均 $8.65 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量 $0.44 \sim 1.87 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,平均 $0.96 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,NQi 值 $1.6 \sim 2.6$,平均 1.87。显然,浮游植物栖息密度的季节变化主要受海域营养盐含量的影响。枯水期,由于雨量减少,海湾周围地表径流量减少,红海湾沿岸水因考洲洋狭窄的水道难以进入湾内,从而导致水域 DIN 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量很低,浮游植物因缺乏营养盐供给而细胞密度明显降低,仅在吉隆河口和湾口区域出现一定数量的较高密集区;丰水期,雨量明显增加,海湾周围地表径流量

增大,带入大量的营养物质,导致水域 DIN 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量明显增高,浮游植物由于有充分的养份而繁殖力增强,因此,细胞密度显著高于枯水期。甘居利等^[13]利用同期调查资料,对考洲洋海水营养盐与浮游植物的关系进行了比较分析,结果进一步验证了上述结论。他们研究显示,枯水期浮游植物密度与 DIN 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量呈显著正相关 ($P < 0.01$ 和 $P < 0.001$),丰水期浮游植物密度与 DIN 含量呈负相关 ($P < 0.05$),与 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量呈较显著正相关 ($P < 0.10$),这表明枯水期 DIN 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量是浮游植物生长的主要限制性生态因子之一,而丰水期 DIN 含量已显过剩,浮游植物的生长主要受 $\text{PO}_4\text{-P}$ 含量的制约。

分析显示,考洲洋浮游植物密度与活性硅酸盐含量呈现明显的相关关系。枯水期浮游植物密度与 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 含量呈显著的正相关关系 ($P < 0.01$),这与在适宜范围内, $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 含量的升高必然促进硅藻的生长和繁殖基本观点一致^[14,15];丰水期湾 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 含量丰富,平均高达 $79.0 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,呈现过剩状态,浮游植物密度与 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 含量呈现显著负相关 ($P < 0.01$),表明高含量的 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 已对浮游植物的生长产生了抑制作用。

上述结果表明,考洲洋近乎封闭的独特地理特征决定了浮游植物的生长由低次生态系统所提供的 DIN、IP 和 Si 等溶解营养盐有限,其主要养份来源为沿岸陆地径流、雨水和沿岸工农业废水排放所携带的有机养份。

3.3 群落结构的多样性

考洲洋浮游植物群落多样性指数的季节性变化和区域差异特征明显。枯水期生物多样性指数普遍高于丰水期,主要是由于枯水期水交换减少,全海域盐度等水文要素基本稳定,从而浮游植物群落结构显示稳定特征;而丰水期,由于地表径流增加,湾内与湾外水交换能力加强,全海域盐度变化显著,湾内生态系统呈现一种脆弱状态,浮游植物种类演替明显,从而导致群落结构不稳定,多样性指数降低。无论是枯水期,还是丰水期生物多样性指数均以西北部海域为高,东南部海域较低,表明调查季节西北部海域抗环境压迫能力明显高于东南部海域,这主要是由于湾口水域受外海高盐水和湾内低盐水混合影响较大,生物群落抗环境压迫能力相对较弱所致。

参考文献:

- [1] 黄洪辉,林燕棠,林 钦,等. 考洲洋大型底栖生物生态研究[J]. 南海研究与开发,2000,(2):41-46.
- [2] 梁超愉,张汉华,吴进锋,等. 考洲洋沙泥相潮间带生物种类组成与数量分布[J]. 湛江海洋大学学报,2001,21(增刊):1-5.
- [3] 杨美兰,林 钦,甘居利,等. 考洲洋化学耗氧量(COD)的含量特征[J]. 湛江海洋大学学报,2001,21(4):27-31.
- [4] 杨美兰,林 钦,甘居利,等. 考洲洋底质中硫化物的含量与分布[J]. 湛江海洋大学学报,2002,22(3):47-51.
- [5] 甘居利,林 钦,李纯厚,等. 考洲洋表层沉积物的重金属含量及其污染分析[J]. 浙江海洋学院学报,2002,21(3):242-246.
- [6] 李纯厚,贾晓平,林 钦,等. 粤东沿海养殖水域浮游植物的生态特征[J]. 湛江海洋大学学报,2002,22(1):24-29.
- [7] 陈瑞雯,张汉华,陈景文. 红海湾浮游植物种类组成及分布[J]. 南海研究与开发,2001,(1):18-24.
- [8] 高东阳,李纯厚,刘广锋,等. 北部湾海域浮游植物种类组成及数量分布[J]. 湛江海洋大学学报,2001,21(3):13-18.
- [9] 章守宇,邵君波,戴小杰. 杭州湾富营养化及浮游植物多样性问题的探讨[J]. 水产学报,2001,25(6):512-517.
- [10] 崔 毅,陈碧鹃,马绍赛. 乳山湾浮游植物与环境因子的相关关系研究[J]. 应用生态学报,2002,11(6):935-938.
- [11] 周 凯,黄长江,姜 胜,等. 2000-2001年柘林湾浮游植物群落结构及数量变动的周年调查[J]. 生态学报,2002,22(5):688-698.
- [12] 林 钦,李纯厚,王小平,等. 考洲洋海域富营养化评价与赤潮生物分析[A]. 南中国海红潮预防和管理国际研讨会论文集[C]. 2000.
- [13] 甘居利,林 钦,李纯厚,等. 考洲洋海水营养盐的分布及其与浮游植物的关系[J]. 湛江海洋大学学报,2002,22(6):32-37.
- [14] 林更铭,杨清良,林金美. 厦门岛周围海域浮游植物与环境因子的相关性研究[J]. 海洋通报,1993,12(6):40-45.
- [15] 李纯厚,林燕棠,王昭辉,等. 大鹏湾南澳网箱养殖水域的活性硅酸盐研究[J]. 华南师范大学学报(自然科学版),1998,(增刊):47-52.

www.cnki.net