

广西钦州湾浮游植物群落结构特征*

Phytoplankton Community in Coastal Waters of Qinzhou Bay in Guangxi

姜发军, 陈波, 何碧娟, 许铭本, 庄军莲, 张荣灿, 雷富

JIANG Fa-jun, CHEN Bo, HE Bi-juan, XU Ming-ben, ZHUANG Jun-lian, ZHANG Rong-can, LEI Fu

(广西科学院, 广西南宁 530007)

(Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

摘要:在广西钦州湾海域设置 15 个调查站位, 分别于 2010 年 5 月(春季)、8 月(夏季)、11 月(秋季)和 2011 年 2 月(冬季)采集表层海水, 用 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数分析该海域浮游植物种类组成、优势种类、丰度的变化以及群落多样性等群落结构特征。共鉴定浮游植物 79 属 193 种(包括变型和变种), 隶属于 6 个门, 硅藻种类最多, 共 48 属 149 种, 占总种类的 77.2%, 其种数和丰度都占绝对优势, 平均丰度为 10.47×10^4 cells/L; 其次为甲藻, 16 属 28 种, 占总种类的 14.5%, 平均丰度为 0.46×10^4 cells/L。浮游植物丰度 $0.49 \times 10^4 \sim 67.74 \times 10^4$ cells/L, 平均值为 11.94×10^4 cells/L, 丰度变化为典型双峰型, 春秋高, 夏冬季低。调查期间共出现 10 种优势种, 不同季节优势种既有交叉又有演替。浮游植物群落的多样性指数冬季最高, 春季最低。

关键词:浮游植物 群落特征 种类 丰度 多样性

中图法分类号: O178.53 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2012)03-0268-08

Abstract: Phytoplankton composition, abundance, community structure, dominant species and diversity in coastal waters of Qinzhou Bay in Guangxi were investigated in each season in 2010. The results showed that a total of 79 genera and 193 species of phytoplankton were identified, belonging to six phyla. The cells abundance of phytoplankton varied from 0.49×10^4 to 67.74×10^4 cells/L with an average of 11.94×10^4 cells/L. The largest component was Diatoms (the average of 10.47×10^4 cells/L) containing 48 genera and 149 species, occupied 77.2% of species. Dinoflagellate (the average of 0.46×10^4 cells/L) was the next most common with 17 genera and 28 species, occupied 14.5% of species. Annual variations of the phytoplankton community in Qinzhou Bay showed a typical two-peak cycle, with the highest cell abundance peak appeared in Spring and Autumn, the lowest recorded in Summer and Winter. There were 10 kinds of dominant species during the investigation, common species and dominant species were euryhalinous, eurythermic and eurytopic species. There was succession of species in different seasons, nevertheless, some species revealed seasonal cross. Shannon-Wiener index peaked in Winter and minimized in Spring.

Key words: phytoplankton, community characteristics, species, abundance, diversity

钦州湾位于 108.45~108.95 E、21.50~21.90 N, 其气候属于亚热带海洋季风气候, 它是半封闭式溺谷型海湾, 深入内陆 34 km, 水域总面积 380 km², 南面朝北部湾开敞, 北面和东西两侧被低山台地环抱。它是在冰后期海侵中形成的内外宽广, 中段狭长的复式港湾, 形似葫芦。其内为茅尾海, 是以钦江、茅

岭江为主要入湾径流的共同河口海滨区, 属于钦州湾内湾; 中段为湾颈; 外为钦州港, 也称外湾。目前钦州港已经建立钦州保税港区, 成为拥有 10 个万吨以上泊位、年吞吐量超过 1000 万吨的大港^[1]。

海洋浮游植物是海洋食物链的初级生产者, 其数量的丰欠决定海洋初级生产力的大小, 并通过食物链最终影响渔业产量和生态系统的稳定。海洋生态系统动力学的主要研究内容, 是浮游植物群落结构及其动态变化, 对了解海洋生态系统的动力学机制和渔业资源动态有重要意义^[2]。目前对钦州湾环境调查的

收稿日期: 2011-10-26

修回日期: 2011-12-09

作者简介: 姜发军(1976-), 男, 助理研究员, 主要从事海洋环境研究。

* 广西自然科学基金北部湾重大专项项目(2010GXNSFE013001), 广西科学院基本业务费项目(10YJ25HY01)资助。

报道不多,对该海区浮游植物生态特征的研究未见报道。本文根据 2010 年 5 月至 2011 年 2 月进行的生态调查数据,分析钦州湾海域浮游植物的种类组成、优势种类、丰度的变化以及群落多样性等群落结构特征,为对该海域进行海洋生物多样性的调查和保护提供基础参数和科学依据。

1 材料与方法

在钦州湾海域设置 15 个调查站位(图 1)。分别于 2010 年 5 月(春季)、8 月(夏季)、11 月(秋季)和 2011 年 2 月(冬季)在以上 15 个站位利用小体积采水器分别采集表层海水 1 L,立即用鲁哥氏液固定,使其最终浓度为 15‰。带回实验室后,逐步沉淀浓缩至 10ml 左右(根据浮游植物细胞丰度确定),然后摇匀水样,取出 0.1ml 样品,利用浮游植物分析框在 Olympus BH. 2 显微镜下观察、计数和鉴定种类。为了使误差减少到 10%,每次计数的浮游植物细胞数均达到 400 个以上^[3]。

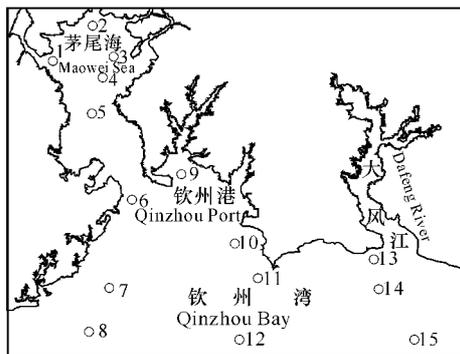


图 1 钦州湾浮游植物调查站位

Fig. 1 Sampling station of phytoplankton of Qinzhou Bay 1~15: 站位。1~15: Station.

群落多样性是表征群落特征和群落稳定性的重要参数。本文选用 Shannon-Wiener 多样性指数

表 1 2010 年广西钦州湾浮游植物名录

物种 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
异角毛藻 <i>Chaetoceros diversus</i>	✓	✓	✓	✓
克尼角毛藻 <i>C. kni powitschii</i>	✓			
平滑角毛藻 <i>C. laevis</i>	✓	✓	✓	✓
窄隙角毛藻 <i>C. affinis</i>	✓	✓	✓	✓
丹麦角毛藻 <i>C. danicus</i>	✓			✓
窄面角毛藻 <i>C. paradoxus</i>	✓	✓		✓
短胞角毛藻 <i>C. brevis</i>			✓	
双胞胎角毛藻 <i>C. didymus</i>			✓	
秘鲁角毛藻 <i>C. peruvianum</i>		✓	✓	

(H') 和 Pielou 均匀度指数 (J) 和优势度值 (Y) 采用以下计算公式:

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

$$J = H' / H_{\max},$$

$$Y = (ni/N) \times f_i^{[4]}.$$

式中, P_i 为第 i 种的个体数 (ni) 与总个体数 (N) 的比值, f_i 为第 i 种在各站位出现的频率, Y 值大于 0.02 的种类为优势种。 H_{\max} 为 $\log_2 S$, 表示多样性指数的最大值, S 为样品总种类数。

2 结果与分析

2.1 浮游植物种类组成

4 个航次共鉴定浮游植物 79 属 193 种(包括变型与变种),包括硅藻、甲藻、蓝藻、绿藻、着色鞭毛藻、裸藻。硅藻不论是细胞丰度还是种数都占绝对优势,共 48 属 149 种,占总种类的 77.2%;其次为甲藻,共 16 属 28 种,占总种类 14.5%(表 1);绿藻 7 属 8 种;蓝藻 3 属 3 种;着色鞭毛藻 4 属 4 种;裸藻 1 种。硅藻以菱形藻属 (*Nitzschia*) 种类最多,共 16 种,然后是舟形藻属 (*Navicula*),共 15 种、角毛藻属 (*Chaetoceros*) 的 12 种和根管藻属 (*Rhizosolenia*) 的 11 种。甲藻以原甲藻属 (*Prorocentrum*) 居多,共有 6 种。秋季和冬季浮游植物种类数相同,为 109 种。春季浮游植物种类最少,为 71 种。

2.2 浮游植物优势种类

调查期间钦州湾共出现 10 种优势种(表 2),除了球形棕囊藻外,其余均为硅藻,不同季节既有交叉又有演替。由亚热带内湾的性质所决定,调查海域常见种和优势种均由一些广温广盐的广布种组成,如拟旋链角毛藻 (*Chaetoceros pseudocurvisetus*)、中肋骨

物种 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
布氏双尾藻 <i>Ditylum brightwell</i>	✓			✓
太阳双尾藻 <i>D. sol</i>	✓		✓	
长角弯角藻 <i>Eucampia cornuta</i>	✓			✓
短角弯角藻 <i>E. zodiacus</i>		✓	✓	
环纹娄氏藻 <i>Lauderia amulata</i>	✓		✓	✓
薄壁几内亚藻 <i>Guinardia cylindrus</i>	✓	✓	✓	✓
蜂腰双壁藻 <i>Diploneis bombus</i>		✓		
皇冠盘藻 <i>Stephanodiscus asteaea</i>			✓	✓
唐氏藻 <i>Donkinia</i> sp.				✓

续表 1

Continue table 1

物种 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	物种 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
海洋角毛藻 <i>C. pelagicus</i>	✓			✓	尖刺伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	✓	✓		
拟旋链角毛藻 <i>C. pseudocurvisetus</i>	✓	✓	✓	✓	柔弱伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>			✓	✓
洛氏角毛藻 <i>C. cellulosum</i>	✓		✓	✓	伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.			✓	
覆瓦根管藻细茎变种 <i>Rhizosolenia imbricata</i> var. <i>schrubsolei</i>	✓	✓	✓	✓	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	✓	✓	✓	✓
刚毛根管藻 <i>R. setigera</i>	✓	✓		✓	佛氏海线藻 <i>T. frauenfeldii</i>		✓		✓
柔弱根管藻 <i>R. delicatula</i>	✓	✓	✓	✓	长海毛藻 <i>T. longissima</i>			✓	
厚刺根管藻 <i>R. crassispin</i>	✓		✓	✓	具槽帕拉藻 <i>Paralia sulcat</i>		✓	✓	✓
脆根管藻 <i>R. fragillissima</i>	✓		✓	✓	泰晤士旋鞘藻 <i>Helicotheca tamesis</i>		✓	✓	
中华根管藻 <i>R. sinensis</i>	✓		✓	✓	丹麦细柱藻 <i>Leptocylindrus danicus</i>	✓	✓	✓	✓
斯托根管藻 <i>R. stolterfothii</i>	✓	✓	✓	✓	日本星杆藻 <i>Asterionella japonica</i>	✓	✓	✓	✓
覆瓦根管藻 <i>R. imbricata</i>		✓	✓	✓	优美旭氏藻 <i>S. derella delicatula</i>		✓		✓
螺端根管藻 <i>R. cochlea</i>			✓	✓	优美旭氏矮小变型 <i>S. derella delicatula</i> f. <i>schöderi</i>			✓	
距端根管藻 <i>R. calcar-avis</i>			✓	✓	针杆藻 <i>Synedra</i> sp.		✓		✓
翼根管藻纤细变型 <i>R. alata</i> f. <i>gracillima</i>			✓	✓	楔形藻 <i>Licmophora</i> sp.			✓	
变异辐杆藻 <i>Bacteriastrium furcatum</i>	✓	✓	✓	✓	马鞍藻 <i>Campylodiscus</i> sp.			✓	
优美辐杆藻 <i>B. delicatulum</i>		✓	✓	✓	派格棍形藻 <i>Bacillaria paxillifera</i>		✓	✓	
透明辐杆藻 <i>B. hyalinum</i>		✓	✓	✓	短柄曲壳藻变狭变种 <i>Achnanthes brevipipes</i> Var. <i>angustata</i>		✓	✓	
地中海辐杆藻 <i>B. mediterraneum</i>			✓		地中海指管藻 <i>Dactyliosolen mediterraneus</i>		✓	✓	
柔软舟形藻 <i>Navicula mollis</i>	✓	✓	✓	✓	环状辐柄藻 <i>Actinoptychus annulatus</i>		✓	✓	✓
小头舟形藻 <i>N. capitata</i>	✓				大洋角管藻 <i>Cerataulina pelagica</i>	✓			
直舟形藻 <i>N. directa</i>	✓			✓	大角管藻 <i>C. daemon</i>		✓	✓	✓
带状舟形藻 <i>N. zostereti</i>		✓			双标胸膈藻 <i>Mastogloia binotata</i>		✓		
帕维舟形藻 <i>N. pavillardii</i>	✓			✓	微小胸膈藻 <i>M. pusilla</i>			✓	✓
多枝舟形藻 <i>N. ramosissima</i>		✓			拟货币直链藻 <i>Melosira nummuloides</i>		✓	✓	
微绿舟形藻 <i>N. viridula</i>			✓		念珠直链藻 <i>M. moniliformis</i>	✓	✓		✓
盾型舟形藻 <i>N. scutiiformis</i>	✓			✓	三角褐指藻 <i>Phaeodactylum tricornutum</i>			✓	✓
瞳孔舟形藻椭圆变种 <i>N. pupula</i> Var. <i>elliptica</i>			✓		热带环刺藻 <i>Gossleriella tropica</i>		✓		
瞳孔舟形藻 <i>N. pupula</i>	✓				沃氏双菱藻 <i>Surirella voigtii</i>			✓	
扁舟形藻 <i>N. impressa</i>	✓				流水双菱藻 <i>S. fluminensis</i>		✓		
盔状舟形藻 <i>N. corymbosa</i>			✓		盔甲双菱藻 <i>S. armoricana</i>			✓	✓
似菱舟形藻 <i>N. perrhombus</i>			✓		微小海链藻 <i>Thalassiosira exigua</i>		✓		✓
小型舟形藻 <i>N. parva</i>			✓	✓	弯菱形藻 <i>N. sigma</i>				✓

续表 1

Continue table 1

物种 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	物种 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
不对称舟形藻 <i>N. asymmetrica</i>				✓	溢缩菱形藻 <i>N. constricta</i>				✓
艾希斜纹藻 <i>Pleurosigma aestuarii</i>	✓			✓	具点菱形藻 <i>N. punctata</i>				✓
端尖斜纹藻 <i>P. acutum</i>			✓	✓	拟螺旋菱形藻 <i>N. sigmoidea</i>				✓
宽角斜纹藻 <i>P. angulatum</i>		✓		✓	琴式菱形藻 <i>N. panduriformis</i>				✓
镰刀斜纹藻 <i>P. falx</i>		✓		✓	钝头菱形藻 <i>N. obtusa</i>				✓
柔弱斜纹藻 <i>P. delicatulum</i>		✓			菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp.			✓	
中形斜纹藻 <i>P. intermedium</i>			✓	✓	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	✓	✓	✓	✓
舟形斜纹藻 <i>P. naviculaceum</i>			✓	✓	江河骨条藻 <i>S. potamos</i>			✓	
菱形斜纹藻 <i>P. rhombeum</i>			✓		热带骨条藻 <i>S. tropicum</i>	✓	✓		
斜纹藻 <i>Pleurosigma</i> sp.				✓	霍氏半管藻 <i>Hemiaulus hauckii</i>	✓	✓	✓	✓
微小环藻 <i>Cyclotella caspia</i>	✓	✓	✓		中华半管藻 <i>H. sinensis</i>		✓		✓
柱状小环藻 <i>C. stylonum</i>				✓	掌状冠盖藻 <i>Stephanopyxis palmeriana</i>	✓			✓
条纹小环藻 <i>C. striata</i>	✓				塔形冠盖藻 <i>Stephanopyxisturris</i> var. <i>turris</i>		✓	✓	✓
柔弱井字藻 <i>Eumotogramma debile</i>	✓	✓	✓	✓	中华盒形藻 <i>Biddulphia sinensis</i>	✓			✓
平滑井字藻 <i>E. laevis</i>	✓				活动盒形藻 <i>B. mobiliensis</i>	✓			✓
卵形双眉藻 <i>Amphora ovalis</i>	✓	✓	✓	✓	高盒形藻 <i>B. regia</i>		✓		✓
咖啡形双眉藻 <i>A. coffeaeformis</i> var. <i>acutiuscula</i>	✓	✓	✓	✓	三刺盒形藻 <i>B. tridens</i>		✓		✓
狭窄双眉藻 <i>A. angusta</i>	✓	✓		✓	正盒形藻 <i>B. biddulphiana</i>			✓	✓
易变双眉藻眼状变种 <i>Aphora proteus</i> var. <i>aculata</i>			✓		盒形藻 <i>Biddulphia</i> sp.		✓	✓	✓
卵形双眉藻有柄变种 <i>A. ovalis</i> var. <i>pediculus</i>			✓	✓	圆海链藻 <i>Thalassiosira rotula</i>		✓		
变异双眉藻 <i>A. commutata</i>				✓	盾卵形藻 <i>Cocconeis scutellum</i>		✓		✓
虹彩圆筛藻 <i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>			✓		簇生布纹藻薄喙变种 <i>Gyrosigma fasciola</i> var. <i>tenuirostris</i>			✓	✓
具边线性圆筛藻 <i>C. marginato-lineatus</i>		✓			斯氏布纹藻 <i>G. spencerii</i>	✓	✓		✓
小型圆筛藻 <i>C. minor</i>				✓	柔弱布纹藻 <i>G. tenuissimum</i>			✓	✓
细弱圆筛藻 <i>C. subtilis</i>	✓			✓	结节布纹藻 <i>G. nodiferum</i>			✓	✓
中心圆筛藻 <i>C. centralis</i>	✓				尖布纹藻 <i>G. acuminatum</i>		✓		
圆筛藻 <i>Coscinodiscus</i> sp.				✓	尖布纹藻虫樱变种 <i>G. acuminatum</i> var. <i>gallica</i>			✓	
琴式菱形藻微小变种 <i>Nitzschia panduriformis</i> Var. <i>minor</i>	✓				布纹藻 <i>Gyrosigma</i> sp.			✓	
洛伦菱形藻密条变种 <i>N. lorenziana</i> Var. <i>densestriata</i>		✓			金色金盘藻 <i>Chrysanthemodiscus floriatus</i>			✓	
碎片菱形藻 <i>N. frustulum</i>			✓		双角缝舟藻四角形变种 <i>Rhaphoneis amphiceros</i> Var. <i>tetragona</i>		✓		
长菱形藻 <i>N. longissima</i>			✓		易变石丝藻 <i>Lithodesmium variabile</i>				✓
簇生菱形藻 <i>N. fasciculata</i>			✓		具尾鳍藻 <i>Dinophysis caudata</i>	✓	✓	✓	✓

续表 1

Continue table 1

物种 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	物种 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
海洋菱形藻 <i>N. marina</i>			✓	✓	锥状斯克里普藻 <i>Scrippsiella trochoidea</i>	✓	✓	✓	✓
披针菱形藻 <i>N. lanceolata</i>				✓	塔玛亚历山大藻 <i>Alexandrium amarense</i>	✓	✓	✓	✓
洛氏菱形藻 <i>N. lorenzian</i>			✓		短凯伦藻 <i>Karenia breve</i>		✓		✓
新月菱形藻 <i>N. closterium</i>	✓		✓		米氏凯伦藻 <i>K. mikimotoi</i>		✓	✓	✓
米氏凯伦藻 <i>Karenia mikimotoi</i>		✓	✓	✓	环沟藻 <i>Gyrodinium</i> sp.		✓		
梭甲藻 <i>Ceratium fusus</i>	✓	✓	✓		条纹环沟藻 <i>G. dominans</i>		✓		
血红哈卡藻 <i>Akashiwo sanguineum</i>		✓	✓		斯氏多沟藻藻 <i>Polykrikos schwarzii</i>			✓	
春膝沟藻 <i>Gonyaulax verior</i>	✓	✓	✓		海洋卡盾藻 <i>Chattonella marina</i>	✓	✓		✓
链状裸甲藻 <i>G. catenatum</i>		✓			赤潮异湾 <i>Heterosiga akashiwo</i>	✓		✓	✓
裸甲藻 <i>Gymnodinium</i> sp.		✓	✓	✓	小等刺硅鞭藻 <i>Dictyocha fibula</i>		✓	✓	
海洋原多甲藻 <i>Protoperdinium oceanicum</i>	✓	✓	✓		球形棕囊藻 <i>Phaeocystis globosa</i>	✓			✓
透明原多甲藻 <i>P. pellucidum</i>		✓			螺旋弓形藻 <i>Schroederia spiralis</i>		✓		
歧散原多甲藻 <i>P. divergens</i>		✓		✓	四角十字藻 <i>Crucigenia quadrata</i>	✓			
利马原甲藻 <i>P. lima</i>		✓	✓		针形纤维藻 <i>Ankistrodesmus acicularis</i>		✓		
东海原甲藻 <i>P. donghaiense</i>		✓			镰形纤维藻 <i>A. falcatus</i>				✓
齿状原甲藻 <i>P. dentatum</i>		✓			四球藻 <i>Westella botryoides</i>			✓	
海洋原甲藻 <i>P. micans</i>	✓	✓	✓	✓	斜生栅藻 <i>Scenedesmus obliquus</i>			✓	
微小原甲藻 <i>P. minimum</i>	✓	✓	✓	✓	小球藻 <i>Chlorella</i> sp.			✓	
反曲原甲藻 <i>P. sigmoides</i>		✓	✓		粘四集藻 <i>Palmella mucosa</i>			✓	
具毒刚比甲藻 <i>Gambierdiscus toxicus</i>		✓		✓	鱼腥藻 <i>Anabaena</i> sp.			✓	
三角角藻 <i>Ceratium tripos</i>	✓	✓	✓		颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp.		✓	✓	✓
叉状角藻 <i>C. furca</i>	✓	✓	✓		螺旋藻 <i>Spirulina</i> sp.		✓		
夜光藻 <i>Noctiluca scintillans</i>	✓	✓		✓	绿色裸藻 <i>Euglena viridis</i>	✓	✓		
多边舌甲藻 <i>Lingulodinium polyedrum</i>				✓					

条藻 (*Skeletonema costatum*)、菱形海线藻 (*Thalassionema nitzschioides*)、微小小环藻 (*Cyclotella caspia*)、条纹小环藻 (*Cyclotella striata*) 等。硅藻不论是种类还是数量都为绝对优势类群,其种类占总种类的 77.2%,其数量占总数的 87.69%。春季由于钦州湾水温上升,温带沿岸性种脆根管藻大量繁殖,占浮游植物丰度的 51.88%,脆根管藻种群动态决定浮游植物总数量的分布;夏季随着气温上升及雨季的来临,径流输入的营养盐丰富,钦州湾水温达到最高,盐度低于其它季节,广温广盐性种如中肋

骨条藻、拟旋链角毛藻、微小小环藻等为主要优势种,其中中肋骨条藻丰度占浮游植物丰度的 48.84%。中肋骨条藻适应低盐的环境并且能够耐受盐度的剧烈变化,其大量生长需要较丰富的营养盐环境^[5],夏季它在广西各海域中均为优势种^[6,7],一般在近海及河口的冲淡水区域附近大量出现^[8,9]。本次调查中,它主要分布于大风江河口附近;秋冬季,拟旋链角毛藻依然为该海区优势种。随着水温下降,降雨减少,盐度回升,菱形海线藻逐渐成为该海区优势种之一。

2.3 浮游植物丰度变化

钦州湾浮游植物的丰度范围为 $0.49 \times 10^4 \sim 67.74 \times 10^4$ cells/L, 平均值 11.94×10^4 cells/L。由图 2 可以看出, 春季各站位浮游植物丰度在 $1.19 \times 10^4 \sim 47.55 \times 10^4$ cells/L 之间, 平均值是 14.27×10^4 cells/L, 整个浮游植物丰度呈东北向西南逐渐增加的趋势, 其中 8 号站位浮游植物丰度最大; 夏季浮游植物丰度有大幅回落, 各站位丰度在 $1.40 \times 10^4 \sim 40.22 \times 10^4$ cells/L 之间, 平均值是 8.89×10^4 cells/L, 浮游植物丰度分布与春季恰好相反, 呈西北向东南逐渐增加的趋势, 大风江外围的 15 号站位浮游植物丰度最大; 秋季浮游植物丰度达到全年最高, 各站位丰度在 $0.49 \times 10^4 \sim 67.74 \times 10^4$ cells/L 之间, 平均值是 16.59×10^4 cells/L, 外湾的 7 号站位和 11 号站位出现两个高值区, 分别为 58.46×10^4 cells/L 和 67.74×10^4 cells/L; 冬季浮游植物丰度为全年最低, 各站位浮游植物丰度在 $1.58 \times 10^4 \sim 28.78 \times 10^4$ cells/L 之间, 平均值是 8.00×10^4 cells/L, 浮游植物丰度分布与夏季相似, 呈西北向东南逐渐增加的趋势, 大风江外围的 14 号站位浮游植物丰度最大, 为 28.78×10^4 cells/L。

从表 3 可以看出, 硅藻全年丰度范围为 $0.49 \times 10^4 \sim 66.96 \times 10^4$ cells/L, 平均为 10.47×10^4 cells/L, 占浮游植物数量的 87.69%。冬季硅藻丰度最低, 平均为 7.30×10^4 cells/L。秋季硅藻丰度最高, 平均为 15.95×10^4 cells/L; 甲藻全年丰度范围为 $0 \sim 9.45 \times 10^4$ cells/L, 平均为 0.46×10^4 cells/L。甲藻在春季丰度最高, 冬季丰度最低, 分别为 0.80×10^4 cells/L 和 0.16×10^4 cells/L。

本次调查钦州湾浮游植物丰度年平均为 11.94×10^4 cells/L, 低于邻近的防城港湾的 38.77×10^4 cells/L^[6] 和北海的 21.4×10^4 cells/L^[7], 而且浮游植物分布趋势与防城港湾和北海的不同, 呈现由近岸向外海逐渐递增的趋势。水化数据表明, 钦州湾氮磷营养盐远高于防城港湾和北海海域的, 水质超过国家 3 类《海水水质标准》。一般而言, 营养盐含量高的海域, 浮游植物数量亦高。但是, 钦州湾浮游植物数量却低于防城港湾和北海海域。这主要是因为: 在一个营养盐全面过剩的海湾, 营养盐对浮游植物生长繁殖的调控作用相对减弱, 而其它因素的作用则会相对加强^[10]。另外, 钦州湾内的茅尾海域为贝类海水增殖区, 主要挂养牡蛎等滤食性贝类, 这种大规模贝类养殖产生的摄食压力是茅尾海海域浮游植物丰度相对较低的重要原因^[11,12], 类似的情况也出现在广东的柘林湾^[10] 以及山东的桑沟湾^[13]; 而钦州港近岸正

进行大规模的填海工程, 吹填作业致使海水浑浊, 海水透明度降低, 不利于浮游植物的生长, 致使钦州港近岸浮游植物数量降低, 浮游植物数量由近岸向外海逐渐递增。本次调查的浮游植物丰度春秋高, 夏冬季低, 浮游植物数量的周年变化为典型双峰型。一般而言, 在亚热带海域, 浮游植物数量的周年变化曲线一般应为双峰型, 而且应呈现较高的春季高峰^[14~16]。

表 2 钦州湾浮游植物优势种

Table 2 Dominant species phytoplankton in Qinzhou Bay

季节 Season	优势种 Dominant species	平均丰度 Average abundance ($\times 10^4$ cells/L)	占总丰度百分比 Percent in total abundance(%)	优势度 Dominance
春季 Spring	脆根管藻 <i>Rhizosolenia fragillissima</i>	7.40	51.88	0.327
	球形棕囊藻 <i>Phaeocystis globosa</i>	2.16	15.10	0.039
	薄壁几内亚藻 <i>Guinardia flaccida</i>	1.22	8.57	0.068
夏季 Summer	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	4.34	48.84	0.480
	拟旋链角毛藻 <i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	0.58	6.48	0.052
	微小环藻 <i>Cyclotella caspia</i>	0.49	5.47	0.056
	尖刺伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	0.23	2.62	0.020
秋季 Autumn	条纹小环藻 <i>Cyclotella striata</i>	0.21	2.39	0.027
	拟旋链角毛藻 <i>C. pseudocurvisetus</i>	5.18	31.20	0.227
	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	2.16	12.99	0.131
冬季 Winter	中肋骨条藻 <i>S. costatum</i>	1.56	9.42	0.071
	拟旋链角毛藻 <i>C. pseudocurvisetus</i>	0.72	8.96	0.034
	柔弱根管藻 <i>Rhizosolenia delioatula</i>	0.63	7.89	0.048
	微小环藻 <i>C. caspia</i>	0.25	3.12	0.06
	条纹小环藻 <i>C. striata</i>	0.20	2.50	0.022
	菱形海线藻 <i>T. nitzschioides</i>	0.61	7.57	0.057

2010 年钦州湾浮游植物以硅藻为主, 占浮游植

物数量的 87.69%，在浮游植物丰度上占绝对优势。在季节上春季硅藻占整个浮游植物的比例较低，仅占总丰度的 75.4%，而其它季节占 88% 以上。一般而言，海域水体中营养盐浓度的高低是影响浮游植物生长繁殖的主要因素，N、P 元素是营养盐中的关键元素，大约以 16:1 (Redfield 比值) 的原子数比列被浮游植物吸收^[17]。N/P 严重失衡不利于浮游植物的生长，尤其对硅藻影响明显，N/P 比值偏离 Redfield 比值越远，硅藻的数量和种类越少^[18]。调查发现钦州湾春季 N/P 比值高达 103，远远大于其它季节，相对应的是春季硅藻种类最少，而且春季硅藻在整个浮游植物中的比例也是最低的。然而春季硅藻丰度并不是最低的，这主要是因为浮游植物的生长还受温度、盐度、光照、水文等其它环境因素的影响。

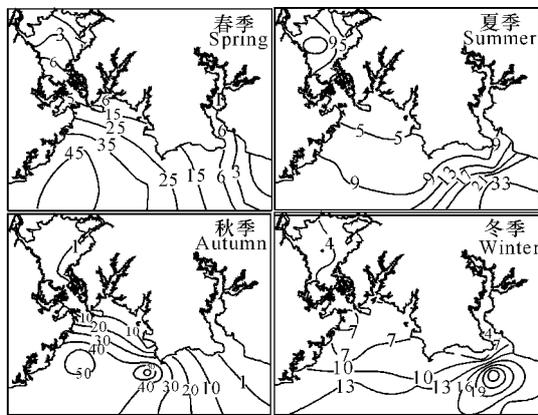


图 2 钦州湾浮游植物丰度(×10⁴ cell/L)平面分布

Fig. 2 Horizontal distribution of phytoplankton abundance in Qinzhou Bay

2.4 浮游植物群落多样性

如图 3、图 4 所示，春季浮游植物群落的 Shannon-Wiener 指数为 0.60~4.43，平均为 1.58，高值主要出现在茅尾海的中部，整个外湾 Shannon-Wiener 多样性指数较低，Pielou 均匀度指数为 0.13~0.95，平均为 0.46，其平面分布特点与 Shannon-Wiener 多样性指数基本一致。春季由于脆根管藻大量繁殖，有些站位脆根管藻达到赤潮密度，平均浓度为 7.40×10^4 cells/L，占浮游植物个体总数的 51.88%，致使春季浮游植物种类数远远小于其它季节，浮游植物群落多样性和物种均匀度相对较低，群落结构不稳定。夏季浮游植物群落的 Shannon-Wiener 指数为 0.97~4.30，平均为 2.65，Pielou 均匀度指数为 0.19~0.84，平均为 0.53，其平面分布特点与 Shannon-Wiener 多样性指数基本上一致。整个茅尾海和外港西面 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数较高，物种较丰富，而外湾大风江南侧由于中肋骨条藻的大量繁殖导致该区域物种较少，Shannon-

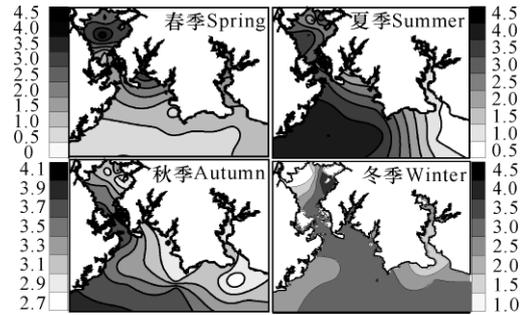


图 3 钦州湾浮游植物群落的 Shannon-Wiener 多样性指数的平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of Shannon-Wiener diversity index of phytoplankton in Qinzhou Bay

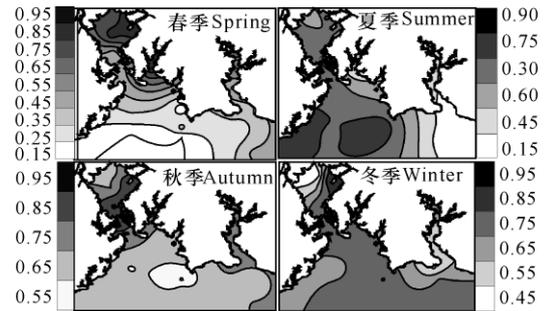


图 4 钦州湾浮游植物群落的 Pielou 均匀度指数的平面分布

Fig. 4 Horizontal distribution of Pielou evenness index of phytoplankton in Qinzhou Bay

表 3 钦州湾硅藻和甲藻丰度

Table 3 Abundance of Diatoms and Dinoflagellate of in Qinzhou Bay

季节 Season	硅藻 Diatoms(×10 ⁴ cells/L)		甲藻 Dinoflagellate(×10 ⁴ cells/L)	
	范围 Range	均值 Average	范围 Range	均值 Average
春季 Spring	0.89~33.89	10.76	0~9.45	0.80
夏季 Summer	1.29~39.35	7.88	0~2.25	0.57
秋季 Autumn	0.49~66.96	15.95	0~1.47	0.32
冬季 Winter	0.86~13.57	7.30	0~0.43	0.16
年度平均 Annual average		10.47		0.46

Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数偏低，整体来说夏季钦州湾群落结构稳定性一般。由此可见，春夏季均因为单一种的优势度大，引起局部海域生物群落的多样性降低以及单纯度的显著升高，对其他种类的生存造成极大压力，并导致整个群落结构稳定性降低。秋季浮游植物群落的 Shannon-Wiener 指数为 2.87~3.90，平均为 3.08，Pielou 均匀度指数为 0.53~0.96，平均为 0.70，尽管 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数的分布并不一致，但

总体来说两者均较高,秋季钦州湾群落结构非常稳定。冬季游植物群落 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均为全年最高,而且分布也高度一致,Shannon-Wiener 指数为 1.08~4.38,平均为 3.25,Pielou 均匀度指数为 0.47~0.91,平均为 0.71,冬季钦州湾浮游植物物种丰富,群落结构非常稳定性。

3 结论

(1)共鉴定钦州湾浮游植物 79 属 193 种(包括变型与变种)。其中硅藻门不论是细胞丰度还是种数都占绝对优势,共 48 属 149 种,占总种类的 77.2%;其次为甲藻门,共 16 属 28 种,占 14.5%。

(2)2010 年钦州湾共出现 10 种优势种,除了球形棕囊藻外,其余均为硅藻,不同季节既有交叉又有演替,常见种和优势种均由一些广温广盐的广布种组成。

(3)2010 年钦州湾浮游植物的丰度在 $0.49 \times 10^4 \sim 67.74 \times 10^4$ cells/L 之间,平均值为 11.94×10^4 cells/L。浮游植物丰度春秋高,夏冬季低,浮游植物丰度均有从湾内向湾外递增的趋势。浮游植物数量的周年变化为典型双峰型。

(4)2010 年钦州湾春季浮游植物生物多样性较低,浮游植物群落结构极不稳定;夏季茅尾海和外湾西部生物多样性较高,外湾东部生物多样性较底,浮游植物群落结构稳定性一般;秋季和冬季浮游植物生物多样性较高,浮游植物群落结构非常稳定。

参考文献:

[1] 张伯虎,陈沈良,谷国传,等. 钦州湾潮流深槽的成因与稳定性探讨[J]. 海岸工程,2010,29(3):43-50.
[2] Cai W G, Li C H, Jia X P, et al. Multivariate analysis and evaluation on the community structure of phytoplankton in west Guangdong waters[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2007, 31(2): 155-161.
[3] 孙军,刘东艳,钱树本. 一种海洋浮游植物定量研究方法:Utermohl 方法的介绍及其改进[J]. 黄渤海海洋, 2002, 20(2): 105-112.
[4] 孙军,刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应

用[J]. 海洋学报, 2004, 26(1): 62-75.
[5] 王宗灵,李瑞香,朱明远,等. 半连续培养下东海原甲藻和中肋骨条藻种群生长过程与中间竞争研究[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(4): 495-50.
[6] 庄军莲,许铭本,张荣灿,等. 广西防城港湾浮游植物数量周年变化特征[J]. 广西科学, 2010, 17(4): 387-390, 395.
[7] 赖廷和,邱绍芳. 北海近岸水域浮游植物群落结构及数量周年变化特征[J]. 海洋通报, 2005, 24(5): 27-32.
[8] 顾新根,袁骥,杨焦文,等. 长江口羽状峰海区浮游植物的生态研究[J]. 中国水产科学, 1995, 2(1): 1-15.
[9] 栾青杉,孙军,宋书群,等. 2004 年秋季长江口及其邻近水域浮游植物群集[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(3): 364-371.
[10] 周凯,黄长江,姜胜,等. 2000 年~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): 648-658.
[11] Nakamura Y, Kerciku F. Effects of filter-feeding bivalves on the distribution of water quality and nutrient cycling in a eutrophic coastal lagoon[J]. J of Mari Sys, 2000, 26: 209-221.
[12] 韦蔓新,何本茂. 钦州湾近 20 a 来水环境指标的变化趋势 V. 浮游植物生物量的分布及其影响因素[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(3): 253-257.
[13] 李超伦,张永山,孙松,等. 桑沟湾浮游植物种类组成、数量分布及其季节变化[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(4): 1-8.
[14] 杜庆红. 厦门同安湾浮游植物变化的初步研究[J]. 海洋通报, 1996, 15(6): 20-26.
[15] 李延风. 湄洲湾浮游植物群落机构特征与水质污染关系分析[J]. 农村生态环境, 1999, 15(4): 28-31.
[16] 杜虹,黄长江,陈善文,等. 2001~2002 年粤东柘林湾浮游植物的生态学研究[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(6): 604-617.
[17] Redfield A C. The biological control of chemical factors in the environment[J]. Am Sci, 1958, 46: 205-221.
[18] 曲克明,陈碧娟,袁有限,等. 氮磷营养盐影响海水浮游硅藻种群组成的初步研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 45-48.

(责任编辑:陈小玲)