

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第12期 Vol.31 No.12 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 12 期

2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例	李 昊, 蔡运龙, 陈睿山, 等 (3255)
扩散对破碎化景观上宿主-寄生种群动态的影响	苏 敏 (3265)
湿地功能评价的尺度效应——以盐城滨海湿地为例	欧维新, 叶丽芳, 孙小祥, 等 (3270)
模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响	樊后保, 廖迎春, 刘文飞, 等 (3277)
中国东部森林样带典型森林水源涵养功能	贺淑霞, 李叙勇, 莫 菲, 等 (3285)
山西太岳山油松群落对采伐干扰的生态响应	郭东罡, 上官铁梁, 白中科, 等 (3296)
长期施用有机无机肥对潮土微生物群落的影响	张焕军, 郁红艳, 丁维新 (3308)
云南元江干热河谷五种优势植物的内生真菌多样性	何彩梅, 魏大巧, 李海燕, 等 (3315)
塔里木河中游洪水漫溢区荒漠河岸林实生苗更新	赵振勇, 张 科, 卢 磊, 等 (3322)
基于 8hm 样地的天山云杉林蒸腾耗水从单株到林分的转换	张毓涛, 梁凤超, 常顺利, 等 (3330)
古尔班通古特沙漠土壤酶活性和微生物量氮对模拟氮沉降的响应	周晓兵, 张元明, 陶 冶, 等 (3340)
Pb 污染对马蔺生长、体内重金属元素积累以及叶绿体超微结构的影响	原海燕, 郭 智, 黄苏珍 (3350)
春、秋季节树干温度和液流速度对东北 3 树种树干表面 CO ₂ 释放通量的影响	王秀伟, 毛子军, 孙 涛, 等 (3358)
云南南部和中部地区公路旁紫茎泽兰土壤种子库分布格局	唐樱殷, 沈有信 (3368)
利用半球图像法提取植被冠层结构特征参数	彭焕华, 赵传燕, 冯兆东, 等 (3376)
黑河上游蝗虫与植被关系的 CCA 分析	赵成章, 周 伟, 王科明, 等 (3384)
额尔古纳河流域秋季浮游植物群落结构特征	庞 科, 姚锦仙, 王 昊, 等 (3391)
九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素	王 雨, 林 茂, 陈兴群, 等 (3399)
东苕溪中下游河岸类型对鱼类多样性的影响	黄亮亮, 李建华, 邹丽敏, 等 (3415)
基于 RS/GIS 公路路域水土流失动态变化的研究——以榆靖高速公路为例	陈爱侠, 李 敏, 苏智先, 等 (3424)
流域景观结构的城市化影响与生态风险评价	胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (3432)
基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析	高 宾, 李小玉, 李志刚, 等 (3441)
若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响	李晋昌, 王文丽, 胡光印, 等 (3451)
施用鸡粪对土壤与小白菜中 Cu 和 Zn 累积的影响	张 妍, 罗 维, 崔晓勇, 等 (3460)
基于 GIS 的宁夏灌区农田污染源结构特征解析	曹艳春, 冯永忠, 杨引禄, 等 (3468)
底墒和种植方式对夏大豆光合特性及产量的影响	刘 岩, 周勋波, 陈雨海, 等 (3478)
不同施肥模式调控沿湖农田无机氮流失的原位研究——以南四湖过水区粮田为例	谭德水, 江丽华, 张 骞, 等 (3488)
丛枝菌根真菌对低温下黄瓜幼苗光合生理和抗氧化酶活性的影响	刘爱荣, 陈双臣, 刘燕英, 等 (3497)
外源半胱氨酸对铜胁迫下小麦幼苗生长、铜积累量及抗氧化系统的影响	彭向永, 宋 敏 (3504)
专论与综述	
水平扫描技术及其在生态学中的应用前景	胡自民, 李晶晶, 李 伟, 等 (3512)
研究简报	
昆仑山北坡 4 种优势灌木的气体交换特征	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (3522)
不同比例尺 DEM 数据对森林生态类型划分精度的影响	唐立娜, 黄聚聪, 代力民 (3531)
苏南丘陵区毛竹林冠截留降雨分布格局	贾永正, 胡海波, 张家洋 (3537)
外来种湿地松凋落物对土壤微生物群落结构和功能的影响	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3543)
深圳地铁碳排放量	谢鸿宇, 王习祥, 杨木壮, 等 (3551)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-06



封面图说: 自然奇观红海滩·辽宁省盘锦市——在辽河入海口生长着大片的潮间带植物碱蓬草, 举目望去, 如霞似火, 蔚为壮观, 人们习惯地称之为红海滩。粗壮的根系加快着海滩土壤的脱盐过程, 掉下的茎叶腐质后肥化了土壤, 它是大海的生态屏障。

彩图提供: 段文科先生 中国鸟网 <http://www.birdnet.cn> E-mail: dwk9911@126.com

九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素

王 雨, 林 茂*, 陈兴群, 林更铭

(国家海洋局第三海洋研究所, 厦门 361000)

摘要:于2009年春(5月)、夏(8月)、秋(11月)在九龙江河口水域进行了水文、化学和生物的生态安全示范区综合外业调查,研究了九龙江河口浮游植物的种类组成、丰度分布、季节变化、空间差异及主要影响因素,并结合前期资料分析了年际变动。结果表明,九龙江河口的浮游植物共记录7门75属135种。主体是硅藻,绿藻次之,甲藻和蓝藻较少,黄藻检出率高,裸藻和金藻零星检出。种类组成的空间差异大,绿藻在河口内区淡水水域比硅藻更占优势。中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、浮动弯角藻(*Eucampia zodiacus*)、圆筛藻(*Coscinodiscus* spp.)、颗粒直链藻(*Melosira granulata*)、微小环藻(*Cyclotella caspia*)是河口区咸淡水水域及近海区的主要种类。浮球藻(*Planktosphneria gelatinosa*)、栅藻(*Scenedesmus* spp.)、盘星藻(*Pediastrum* spp.)、小席藻(*Phormidium tenus*)是河口内区淡水水域的主要种类。根据浮游植物的生态类型及其生境特征大致可分为三大类群。浮游植物丰度夏季最高,平均为 116.16×10^3 个/L,密集中心的季节变化明显,丰度分布由优势类群决定。中肋骨条藻和短角弯角藻的细胞丰度庞大,导致优势种突出,多样性低,种间分布不均匀,群落结构简单化。与历史资料比对,种类组成因淡水藻类的列入而更丰富,丰度年际降低,中肋骨条藻仍是第一优势种,但优势度有较大降幅,优势类群有重大年际变化,细胞个体较小的链状硅藻占优。盐度和营养盐对浮游植物的分布及丰度变化造成极大的时空差异,存在较为显著的线性、复合线性、多项回归拟合关系。

关键词:浮游植物;季节动态;空间分布;年际变化;环境要素;九龙江河口

Spatial and temporal variation of phytoplankton and impacting factors in Jiulongjiang Estuary of Xiamen, China

WANG Yu, LIN Mao*, CHEN Xingqun, LIN Gengming

The Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361000. China

Abstract: An comprehensive survey by hydrological, chemical and biological teams in the demonstration Eco-Security Zone of Jiulongjiang Estuary was conducted in Xiamen, China (24.3° — 25.6° N, 117.7° — 118.2° E) during spring (early May), summer (middle August) and autumn (late November) of 2009, aiming to support Eco-Security management of the estuary. This paper studied phytoplankton species composition, abundance, spatial distribution, community structure, seasonal and interannual variation due to the variations of environmental factors in fresh, brackish and sea waters. With analysis results of 97 samples taken from 21 stations in 3 seasons, it showed that there were 135 species of 7 phyla recorded. Diatom was the dominant species in abundance. Chlorophyceae was subdominant though it was dominant in freshwaters. Dinophyceae and Cyanophyceae were seldom observed and Euglenophyceae and Chrysophyceae even rarely in contrast to Xanthophyceae which was common in 3 seasons. Composition of phytoplankton species varied spatially. The phytoplankton, according to its ecotype and habitat can be grouped into freshwater, coastal and euryhalinity and oceanic species. The most important species in brackish and sea waters were *Skeletonema costatum*, *Eucampia zodiacus*, *Coscinodiscus* spp., *Melosira granulata*, *Cyclotella caspia* and etc.. The freshwaters were predominated by *Planktosphneria gelatinosa*, *Scenedesmus* spp., *Pediastrum* spp., *Phormidium tenus* and etc.. In contrast to a remarkable seasonal and

基金项目:科技部海洋公益性行业科研专项(200805064, 200905009-3);科技部基础工作专项(2006FY220700);国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务基金(海三科 2009031);国家海洋局青年海洋科学基金(2009130);国家海洋局“908 专项海洋生物样品库”

收稿日期:2010-04-25; 修订日期:2010-09-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lm3011@126.com

spatial variation of species composition, the phytoplankton abundance changed less with stations horizontally though it varied with seasons. The abundance of phytoplankton ranged from $(12.10-1135.21) \times 10^3$ cells/L with means of 116.16×10^3 cells/L. Seasonal variation of abundance reached as high as 358.68×10^3 cells/L in summer, and to the lowest at 39.84×10^3 cells/L in autumn. It is evident that distribution pattern and seasonal variation of phytoplankton abundance and was controlled by dominant species. Two areas with high abundance of phytoplankton can be discriminated at brackish waters and sea waters in the Jiulongjiang Estuary, this 2 high phytoplankton abundance areas were supposedly caused by high nutrient input and interaction of interface generally. The Shannon-Wiener diversity indices and Pielou's evenness of phytoplankton community were low in brackish waters with sharp seasonal change. High abundance of *Skeletonema costatum* and *Eucampia zodiacus* were the cause of lower diversity, heterogeneous distribution and community simplification. Compared with historic data composition of phytoplankton species became much diversified joined by freshwater algae though abundance was lower than it used to be. Though the community were obviously dominated by small and chain forming species, such as *Cyclotella caspia* and *Melosira granulata*. It was *Skeletonema costatum* that remained the most dominant though the McNaughton index (Y) reduced sharply. The regression analysis showed that linear correlation, compound linear correlation and multi-regression were significant between phytoplankton abundance and salinity, SiO_4^- , NO_3^- and PO_4^{3-} , respectively. Spatial and temporal variation of phytoplankton was associated mainly by salinity and nutrients in the three seasons of 2009. In conclusion, the phytoplankton community in the Jiulongjiang Estuary have made up a unique estuarine biota characterized by significant seasonal variation and hydrologic influence.

Key Words: phytoplankton; seasonal dynamics; spatial distribution; interannual variation; environmental factors; Jiulongjiang Estuary

世界上大多数河口都受到了不同程度的人为干扰,有的甚至导致了河口生境的退化及崩溃^[1-2],进而对海洋生态系统以及海岸带的生态安全带来严峻挑战^[2-3]。河口区浮游植物是河口生态系统物质与能量流动的重要环节,通过对河口区浮游植物生态学研究及对影响其群落因素的探讨将有助于揭示河口区生态环境变化动态。长期以来,有关学者陆续对九龙江河口的浮游植物进行了调查研究,取得一定成果。但取样水域多在河口区的咸淡水域以及河口外海近岸海域^[4-12],而河口内区因调查站位未设置,数据与资料文献相对匮乏。本文通过国家海洋局第三海洋研究所九龙江河口开展的生态安全示范区选化工作,将研究区域扩展到九龙江河口内区的淡水水域,系统分析九龙江河口浮游植物群落的变化、空间分布差异,并与前期资料对比揭示年际变动,探讨影响浮游植物组成与分布的主要环境因素,对九龙江河口水环境安全的长期动态监控与研究作有益的补充,为河口生态效应解析与生态风险评估提供支持。

1 材料与方法

1.1 研究区域与采样时间

于2009年春(5月)、夏(8月)、秋(11月)在九龙江河口进行生物、化学、水文研究工作($24.3^\circ-25.6^\circ \text{N}$, $117.7^\circ-118.2^\circ \text{E}$),布设21个大面站,延升至九龙江河口内区的淡水水域(图1)。低潮时采集水样。依据低潮期水体盐度特征,采样水域分为河口内区,淡水水域,含S1—S6、S21测站;河口区,咸淡水水域,含S7—S9、S13—S17测站,集中在海门岛至海沧一线海域;近海区,在厦门西港海域,含S10—S12、S18—S20测站。

1.2 研究方法

样品采集、处理与分析等均按《国家海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007)^[13]进行。浮游植物采样用南森采水器取500 mL标准层(0、10、20、50 m、底层(离海底2 m))水样于聚丙烯瓶中,现场用缓冲甲醛溶液固定。样品视其实际标本量经不同程度沉降浓缩至一定体积后,抽取分样在光学显微镜下鉴定和计数,并按种类计算细胞丰度(个/L)。蓝藻类和绿藻类的丝状个体计为单一细胞,绿藻类栅藻、盘星藻等群体计为单一细

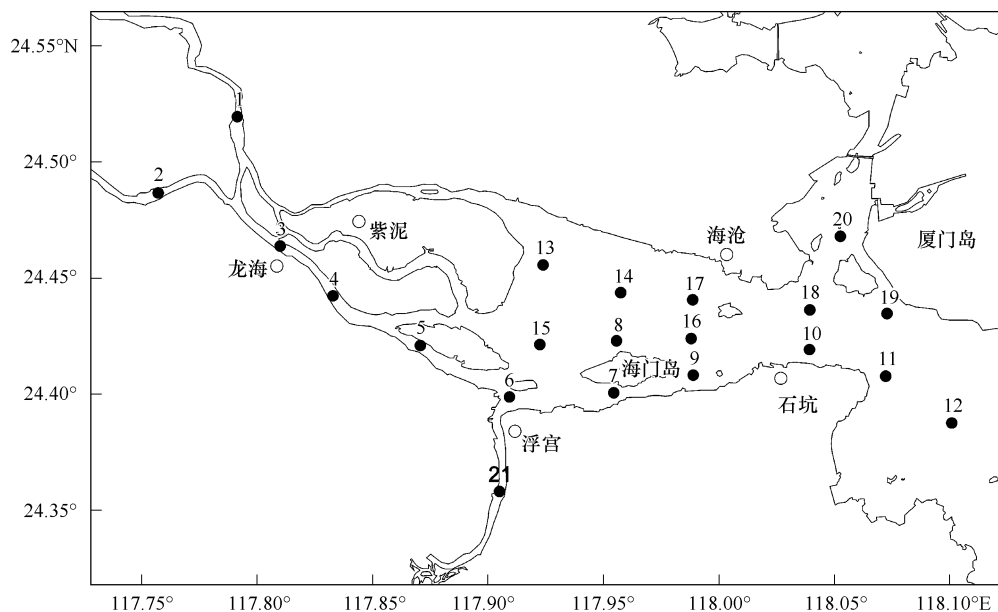


图1 2009年九龙江河口的浮游植物采样站位

Fig.1 Phytoplankton sampling stations in Jiulongjiang Estuary in 2009

胞。参考有关藻类分类文献资料进行鉴定与种名修订^[14-17]。

物种多样性指数(H')、均匀度(J')、优势度(Y)分别采用以下计算公式^[13,18]:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i; J' = \frac{H'}{\log_2 S}; Y = \frac{n_i}{N} f_i$$

式中, S 为样品中的种类数, P_i 为第*i*种的个体数与样品总个体数的比值, n_i 为第*i*种的数量, N 为每个种出现的数量的总和, f_i 为第*i*种的测站出现率。

2 结果与分析

2.1 种类组成及季节变化

九龙江河口的浮游植物共记录7个门类75属135种(表1)。硅藻主导型的群落,有45属78种,占总种类的57.8%。绿藻次之,有13属28种,占20.7%。甲藻为6属12种,占8.9%。蓝藻有10属12种,占8.9%。裸藻2属3种,占2.2%。金藻和黄藻各1属1种。种类组成的季节变化明显(表1、表2)。硅藻自春季增长到夏季,保持到秋季最多53种。角毛藻(*Chaetoceros* spp.)、根管藻(*Rhizosolenia* spp.)在春、夏季节繁盛。圆筛藻(*Coscinodiscus* spp.)、齿状藻(*Odontella* spp.)在秋季则较多。绿藻秋季检出最多20种,栅藻(*Scenedesmus* spp.)与盘星藻(*Pediastrum* spp.)周年可见。甲藻在夏季检出最多7种,秋季与春季持平。蓝藻检出种类在夏季最多,春季最少。裸藻在夏、秋两季检出种类增多。黄藻周年检出1种。金藻仅在春季检出1种。

表1 九龙江河口浮游植物的种类组成、生态类型及季节变化

Table 1 Ecotype and seasonal variation of phytoplankton species composition in Jiulongjiang Estuary

种类 Species	生态类型及生境特征* Ecotype and habit	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn
硅藻 <i>Bacillariophyceae</i>				
厚辐环藻 <i>Actinocyclus crassus</i>	浮游,咸淡水	✓	✓	
环状辐桐藻 <i>Actinopterychus annulatus</i>	浮游,咸淡水		✓	✓
短柄曲壳藻 <i>Achnanthes brevipes</i>	底栖,咸淡水		✓	✓
翼内茧藻 <i>Entomoneis alata</i>	浮游,海水	✓		✓

续表

种类 Species	生态类型及生境特征* Ecotype and habit	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn
冰河拟星杆藻 <i>Asterionellopsis glacialis</i>	浮游,海水	✓	✓	
派格棍形藻 <i>Bacillaria paxillifera</i>	底栖,海水			✓
钟形钟鼓藻 <i>Bellerocha horologicalis</i>	浮游,海水		✓	✓
卵形藻 <i>Cocconeis</i> sp.	底栖,咸淡水		✓	✓
微小环藻 <i>Cyclotella caspia</i>	底栖,咸淡水	✓	✓	✓
秘鲁角毛藻 <i>Chaetoceros peruvianus</i>	浮游,海水	✓	✓	
密联角毛藻 <i>Chaetoceros densus</i>	浮游,海水	✓	✓	
洛氏角毛藻 <i>Chaetoceros lorenzianus</i>	浮游,海水	✓	✓	
丹麦角毛藻 <i>Chaetoceros danicus</i>	浮游,咸淡水	✓		
旋链角毛藻 <i>Chaetoceros curvisetus</i>	浮游,海水	✓	✓	✓
星脐圆筛藻 <i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	浮游,海水		✓	✓
琼氏圆筛藻 <i>Coscinodiscus jonesianus</i>	浮游,海水	✓	✓	✓
弓束圆筛藻 <i>Coscinodiscus curvatulus</i>	浮游,咸淡水		✓	✓
小型弓束圆筛藻 <i>Coscinodiscus curvatulus</i> v. <i>minor</i>	浮游,咸淡水	✓		✓
线形圆筛藻 <i>Coscinodiscus lineatus</i>	浮游,咸淡水	✓	✓	✓
小眼圆筛藻 <i>Coscinodiscus oculatus</i>	浮游,海水		✓	
中心圆筛藻 <i>Coscinodiscus centralis</i>	浮游,海水			✓
辐射圆筛藻 <i>Coscinodiscus radiatus</i>	浮游,海水		✓	✓
有翼圆筛藻 <i>Coscinodiscus bipartitus</i>	浮游,咸淡水		✓	✓
畸形圆筛藻 <i>Coscinodiscus deformatus</i>	浮游,海水			✓
离心列海链藻 <i>Thalassiosira excentrica</i>	浮游,海水			✓
具边圆筛藻 <i>Coscinodiscus maginatus</i>	浮游,咸淡水		✓	✓
双角角管藻 <i>Cerataulina bicornis</i>	浮游,咸淡水		✓	
双凹梯形藻 <i>Climacodinium biconcavum</i>	浮游,海水			✓
地中海指管藻 <i>Dactyliosolenia mediterraneus</i>	浮游,海水	✓		✓
蜂窝双壁藻 <i>Diploneis bombus</i>	底栖,海水	✓	✓	✓
布氏双尾藻 <i>Ditylum brightwellii</i>	浮游,咸淡水	✓	✓	✓
唐氏藻 <i>Donkinia</i> sp.	不详	✓		
普通等片藻 <i>Diatoma vulgare</i>	浮游,淡水		✓	
浮动弯角藻 <i>Eucampia zodiacus</i>	浮游,咸淡水	✓		
柔弱井字藻 <i>Eunotogramma debile</i>	浮游,海水	✓		✓
脆杆藻 <i>Fragilaria</i> sp.	底栖,咸淡水		✓	✓
斯氏几内亚藻 <i>Guinardia striata</i>	浮游,咸淡水	✓		✓
波状斑条藻 <i>Grammatophora undulata</i>	浮游,海水		✓	✓
泰晤士扭鞘藻 <i>Helicothoe tamesis</i>	浮游,海水	✓		✓
丹麦细柱藻 <i>Leptocylindrus danicus</i>	浮游,咸淡水	✓	✓	✓
环纹劳德藻 <i>Lauderia annulata</i>	浮游,海水		✓	
短楔形藻 <i>Licmophora abbreviate</i>	浮游,海水		✓	✓
波状石丝藻 <i>Lithodesmium undulatum</i>	浮游,海水			✓
颗粒直链藻 <i>Melosira granulate</i>	浮游,淡水	✓	✓	✓
尤氏直链藻 <i>Melosira juergensi</i>	浮游,淡水与咸淡水		✓	✓
冰岛直链藻 <i>Melosira islandica</i>	浮游,淡水与咸淡水			✓
小舟形藻 <i>Navicula parva</i>	底栖,咸淡水	✓	✓	
直舟形藻 <i>Navicula directa</i>	底栖,咸淡水	✓		
舟形藻 <i>Navicula</i> sp.	不详	✓		✓
洛氏菱形藻 <i>Nitzschia lorenziana</i>	底栖,咸淡水	✓	✓	✓
长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i>	底栖,海水	✓		
碎片菱形藻 <i>Nitzschia frustulum</i>	底栖,咸淡水	✓	✓	✓

续表

种类 Species	生态类型及生境特征* Ecotype and habit	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn
披针菱形藻 <i>Nitzschia lanceolata</i>	底栖, 咸淡水	✓		✓
活动齿状藻 <i>Odontella mobilensis</i>	浮游, 咸淡水		✓	✓
长耳齿状藻 <i>Odontella aurita</i>	浮游, 海水		✓	✓
中华齿状藻 <i>Odontella sinensis</i>	浮游, 海水			✓
具槽帕拉藻 <i>Paralia sulcata</i>	底栖, 咸淡水	✓	✓	✓
大羽纹藻 <i>Pinnularia major</i>	底栖, 咸淡水		✓	
羽纹藻 <i>Pinnularia</i> sp.	不详			✓
尖刺伪菱形藻 <i>Pseudonitzschia pungens</i>	浮游, 咸淡水	✓	✓	
端尖曲舟藻 <i>Pleurosigma acutum</i>	底栖, 咸淡水	✓	✓	✓
海洋曲舟藻 <i>Pleurosigma pelagicum</i>	底栖, 海水	✓		✓
相似曲周藻 <i>Pleurosigma affine</i>	底栖, 咸淡水	✓	✓	✓
范氏圆箱藻 <i>Pyxidicula weyprechti</i>	浮游, 海水		✓	
伯氏根管藻 <i>Rhizosolenia bergonii</i>	浮游, 海水	✓	✓	
细长翼根管藻 <i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i>	浮游, 海水	✓	✓	
笔尖根管藻 <i>Rhizosolenia styliformis</i>	浮游, 海水	✓	✓	✓
长笔尖形根管藻 <i>Rhizosolenia styliformis</i> v. <i>latissima</i>	浮游, 海水		✓	
刚毛根管藻 <i>Rhizosolenia setigera</i>	浮游, 海水	✓	✓	
中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	浮游, 咸淡水	✓	✓	✓
多尼骨条藻 <i>Skeletonema dohrnii</i>	浮游, 海水	✓		
华壮双菱藻 <i>Surirella fastuosa</i>	底栖, 咸淡水	✓	✓	✓
平片针杆藻 <i>Synedra tabulata</i>	底栖, 咸淡水	✓	✓	✓
佛氏海线藻 <i>Thalassionema frauenfeldii</i>	浮游, 咸淡水	✓	✓	
菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	浮游, 咸淡水	✓	✓	✓
圆海链藻 <i>Thalassiosira rotula</i>	浮游, 海水	✓		✓
海链藻 <i>Thalassiosira</i> sp.	不详	✓	✓	
卵形折盘藻 <i>Tryblioptychus cocconeiformis</i>	底栖, 咸淡水			✓
甲藻 Dinophyceae				
微小亚历山大藻 <i>Alexandrium minutum</i>	浮游, 咸淡水	✓	✓	✓
联营亚历山大藻 <i>Alexandrium catenella</i>	浮游, 海水	✓		
叉角藻 <i>Ceratium furca</i>	浮游, 海水		✓	✓
大角角藻 <i>Ceratium macroceros</i>	浮游, 海水	✓		
具尾鳍藻 <i>Dinophysis candata</i>	浮游, 海水		✓	
夜光藻 <i>Noctiluca scintillans</i>	浮游, 咸淡水		✓	
原甲藻 <i>Proocentrum</i> sp.	不详	✓		
里昂原多甲藻 <i>Protoperdinium leonis</i>	浮游, 海水	✓		✓
微小原多甲藻 <i>Protoperdinium minutum</i>	浮游, 海水		✓	✓
扁平原多甲藻 <i>Protoperdinium depressum</i>	浮游, 海水		✓	
双曲原多甲藻 <i>Protoperdinium conicoides</i>	浮游, 海水			✓
赛裸原多甲藻 <i>Protoperdinium subinermis</i>	浮游, 海水		✓	
绿藻 Chlorophyceae				
针形纤维藻 <i>Ankistrodesmus acicularis</i>	浮游, 淡水	✓		
集星藻 <i>Actinastrum hantzschii</i>	浮游, 淡水	✓	✓	
英克斯四棘鼓藻 <i>Arthrodesmus incus</i>	浮游, 淡水		✓	
华美十字藻 <i>Crucigenia lanterbornei</i>	浮游, 淡水			✓
四角十字藻 <i>Crucigenia quadrata</i>	浮游, 淡水			✓
棘球藻 <i>Echinospaerella limmetica</i>	浮游, 淡水			✓
凹顶鼓藻 <i>Euastrum</i> sp.	浮游, 淡水	✓		
小形月牙藻 <i>Selenastrum minutum</i>	浮游, 淡水		✓	✓

续表

种类 Species	生态类型及生境特征* Ecotype and habit	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn
月牙藻 <i>Selenastrum bibrarianum</i>	浮游,淡水		✓	✓
斜生栅藻 <i>Scenedesmus obliquus</i>	浮游,淡水	✓	✓	✓
被甲栅藻 <i>Scenedesmus armatus</i>	浮游,淡水	✓	✓	✓
尖细栅藻 <i>Scenedesmus acaminatus</i>	浮游,淡水	✓		✓
龙骨栅藻 <i>Scenedesmus carinatus</i>	浮游,淡水	✓	✓	✓
四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i>	浮游,淡水	✓	✓	✓
二形栅藻 <i>Scenedesmus dimorphus</i>	浮游,淡水	✓	✓	✓
裂孔栅藻 <i>Scenedesmus perforatus</i>	浮游,淡水		✓	✓
河生陀螺藻 <i>Strombomonas fluviatilis</i>	浮游,淡水		✓	✓
螺带鼓藻 <i>Spirotaenia</i> sp.	浮游,淡水	✓		
浮球藻 <i>Planktosphneria gelatinosa</i>	浮游,淡水	✓	✓	✓
宽带鼓藻 <i>Pleurotaenium</i> sp.	浮游,淡水		✓	
二角盘星藻 <i>Pediastrum duplex</i>	浮游,淡水	✓	✓	✓
二角盘星藻纤细变种 <i>Pediastrum duplex</i> V. <i>gracillimum</i>	浮游,淡水	✓	✓	✓
双射盘星藻 <i>Pediastrum biradiatum</i>	浮游,淡水	✓	✓	✓
短棘盘星藻 <i>Pediastrum boryanum</i>	浮游,淡水		✓	
四角盘星藻 <i>Pediastrum teras</i>	浮游,淡水		✓	✓
单角盘星藻 <i>Pediastrum simplex</i>	浮游,淡水			✓
单角盘星具孔变种 <i>Pediastrum simplex</i> v. <i>duodenarium</i>	浮游,淡水			✓
环丝藻 <i>Ulothrix zonata</i>	浮游,淡水		✓	
蓝藻 Cyanophyceae				
针状蓝纤维藻 <i>Dactylococcopsis acicularis</i>	浮游,淡水		✓	✓
点形粘球藻 <i>Gloeocapsa punctata</i>	浮游,淡水	✓		
优美平裂藻 <i>Merismopedia elegans</i>	浮游,淡水	✓	✓	✓
湖沼色球藻 <i>Chroococcus limneticus</i>	浮游,淡水	✓	✓	
小色球藻 <i>Chroococcus minutus</i>	浮游,淡水		✓	✓
头状黄管藻 <i>Ophiocytium capitatum</i>	浮游,淡水		✓	✓
湖沼鞘丝藻 <i>Lyngbya limnetica</i>	浮游,淡水	✓		
小颤藻 <i>Oscillatoria tenuis</i>	浮游,淡水	✓	✓	✓
红海束毛藻 <i>Trichodesmium erythraeum</i>	浮游,咸淡水	✓	✓	✓
美丽颤藻 <i>Oscillatoria fomsa</i>	浮游,淡水		✓	
小席藻 <i>Phormidium tenuis</i>	浮游,淡水		✓	✓
为首螺旋藻 <i>Spirulina princeps</i>	浮游,淡水		✓	✓
黄藻 Xanthophyceae				
近缘黄丝藻 <i>Tribonema affine</i>	浮游,咸淡水	✓	✓	✓
金藻 Chrysophyceae				
小等刺硅鞭藻 <i>Dictyocha fibula</i>	浮游,咸淡水	✓		
裸藻 Euglenophyceae				
鱼形裸藻 <i>Euglena caudata</i>	浮游,淡水	✓	✓	
具尾扁裸藻 <i>Euglena piseifomis</i>	浮游,淡水		✓	✓
相似囊裸藻 <i>Trachelomonas similis</i>	浮游,淡水		✓	✓

* 表示根据参考文献[7,11,14-16,21,22]的研究结果来划分;✓表示检出

硅藻优势类群主要为中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*)、浮动弯角藻 (*Eucampia zodiacus*)、颗粒直链藻 (*Melosira granulata*)、微小环藻 (*Cyclotella. caspia*)、具槽帕拉藻 (*Paralia sulcata*)、圆筛藻,这也是九龙江河口浮游植物群落中细胞丰度较高的类群,集中在近海区以及河口区检出。由于近期国际上对骨条藻有较大修订,本文所定种按照以往惯例笼统的定为中肋骨条藻并定量,多尼骨条藻 (*Skeletonema dohrnii*) 仅定性。

绿藻为典型淡水类群^[5,15],优势类群有被甲栅藻 (*Scenedesmus armatus*)、浮球藻 (*Planktosphneria*

gelatinosa)、盘星藻,在河口内区淡水水域占优,夏、秋季检出较多种类。其中,栅藻及浮球藻在河口区零星检出。甲藻优势类群不明显。其中,微小亚历山大藻(*Alexandrium minutum*)在春季的河口区有较高检出率,偶见于河口内区淡水水域,这与低盐度和富含营养的淡水输入相关,并能适宜咸淡水生境^[19-20]。蓝藻主要种类有优美平裂藻(*Merismopedia elegans*)、湖沼色球藻(*Chroococcus limneticus*)、点形粘球藻(*Gloeocapsa punctata*)、小席藻(*Phormidium tenue*),在群落中无优势地位,是典型的淡水类群^[5,15,21]。红海束毛藻(*Trichodesmium erythraeum*)是典型的海水种,偶见于咸淡水域。黄藻与裸藻在淡水水域检出率较高,数量上无优势。金藻仅检出一种,在河口区及近海区检出。

中肋骨条藻、浮动弯角藻、圆筛藻是九龙江河口区及近海区已记录的赤潮生物^[5,7-8,10-11]。浮球藻、栅藻、盘星藻、小席藻是河口内区的主要种类。赤潮生物中肋骨条藻和浮动弯角藻成为主要优势种,而且调查结果表明浮游植物丰度的平面分布趋势在很大程度上受中肋骨条藻细胞丰度的支配。

表 2 九龙江河口浮游植物类群的季节变化
Table 2 Seasonal variation of important phytoplankton groups in Jiulongjiang Estuary

主要类群 important phytoplankton groups	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn
硅藻 Bacillariophyceae	28 属 46 种	32 属 52 种	35 属 53 种
绿藻 Chlorophyceae	6 属 14 种	9 属 19 种	8 属 20 种
甲藻 Dinophyceae	4 属 5 种	5 属 7 种	3 属 5 种
蓝藻 Cyanophyceae	6 属 6 种	9 属 10 种	8 属 8 种
裸藻 Euglenophyceae	1 属 1 种	2 属 3 种	2 属 2 种
黄藻 Xanthophyceae	1 属 1 种	1 属 1 种	1 属 1 种
金藻 Chrysophyceae	1 属 1 种	—	—

—: 未检出

2.2 主要生态类群及分布特征

根据九龙江河口的浮游植物的生态类型及其生境特征(表 1),可分为以下类群:(1)淡水类群,分布在盐度低,营养盐浓度和悬浮物含量高的河口内区水域,主要由绿藻、蓝藻、裸藻及部分硅藻组成,代表种类有浮球藻、盘星藻、栅藻、小色球藻(*Chroococcus minutus*)、点形粘球藻、小席藻、优美平裂藻等。该类群在夏季的河口咸淡水区能检出,并有一定细胞丰度。(2)近岸广盐类群,主要分布在咸淡水交汇区,此处营养盐含量较丰富,可以满足浮游植物生长所需,包括很多广布种。以硅藻类为主,代表种有中肋骨条藻、浮动弯角藻、角毛藻、圆筛藻、丹麦细柱藻(*Leptocylindrus danicus*)、菱形海线藻(*Thalassionema nitzschioides*)等广温低盐种,还有广温广盐性的微小亚历山大藻。此外该类群还包括较多的咸淡水类群和混入水体的底栖硅藻类,如,菱形藻(*Nitzschia* spp.)、曲舟藻(*Pleurosigma* spp.)、针杆藻(*Synedra* spp.)、微小小环藻、华壮双菱藻(*Surirella fastuosa*)等,该类群在三季均有较高丰度,是九龙江河口最重要的类群。(3)高盐性外海类群,分布在盐度高、营养盐浓度低的近海区,主要代表种有广温性的长耳齿状藻(*Odentella aurita*)、地中海指管藻(*Dactyliosolen mediterraneus*)、布氏双尾藻(*Ditylum brightwellii*)以及暖水性的长笔尖形根管藻(*Rhizosolenia styliformis* v. *latissima*)、赛裸原甲藻(*Protoperidinium subinermis*)等。该类群细胞丰度不高。

2.3 浮游植物丰度的季节变化及分布特征

九龙江河口浮游植物平均丰度,自春季增长到夏季最高,秋季降为最低,主要类群细胞丰度的季节变化明显(表 3)。硅藻丰度各季节均占总丰度的 80% 以上,处绝对优势地位,秋季最低丰度仅为夏季的 1/10,占有率略降为 82.8%。绿藻占总丰度的比例自春季增长,在秋季为高值 8.15%。硅藻丰度在秋季骤降,绿藻及甲藻占有率此时增长。甲藻占总丰度的比例却在夏季最低 0.16%,这与群落中硅藻、绿藻丰度的变动有直接关系。蓝藻占总丰度的比例在秋季最高 2.17%,这是由于硅藻丰度在秋季骤降,蓝藻在群落中的权重增大。裸藻占总丰度的比例变化不大。黄藻占总丰度的比例自春季增长,在秋季为高值,丰度在夏季为高值。

表 3 九龙江河口浮游植物主要类群细胞丰度的季节变化/(10³ 个/L)

	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn
硅藻类 Bacillariophyceae	1947.8(88.5% *)	4475.6(88.7%)	433.85(82.8%)
绿藻类 Chlorophyceae	136(6.18%)	323.9(6.43%)	42.70(8.15%)
甲藻类 Dinophyceae	37.2(1.69%)	8.05(0.16%)	2.65(0.5%)
蓝藻类 Cyanophyceae	24(1.1%)	21.8(0.43%)	11.35(2.17%)
裸藻类 Euglenophyceae	3.8(0.17%)	6.2(0.12%)	1.1(0.21%)
黄藻类 Xanthophyceae	46.8(2.13%)	219.6(4.35%)	32.3(6.16%)
金藻类 Chrysophyceae	8.8(0.27%)	0	0
平均丰度 Total average abundance	165.67	358.68	39.84

* 括号中数据为占总丰度的百分比例

浮游植物丰度的分布特征有明显季节变化,密集中心不同。春季,浮游植物丰度较高,平均为 165.67×10^3 个/L,以近海区的 S18 和 S20 测站为密集区,为 270×10^3 — 310×10^3 个/L。邻近的 S19、S10 测站以及海门岛 S14、S16 测站也相对具有高丰度。总体分布呈现自河口内区向近海区递增的态势(图 2)。夏季,浮游植物丰度最高,平均为 358.68×10^3 个/L。S7 和 S9 测站为密集区,为 920×10^3 — 980×10^3 个/L。海门岛北部的 S8 测站以及邻近的 S16、S17 测站也相对具有高丰度。总体分布呈现自海门岛南部海域向河口内区及近海区分别递增的态势。河口内区的 S1—S5 测站略高于近海区(图 3)。秋季,浮游植物丰度低,平均为 39.84×10^3 个/L。以 S5、S6 以及海门岛南部的 S7、S9 测站为高值检出,为 43×10^3 — 55×10^3 个/L。海门岛北部的 S8 测站以及河口内区的 S1、S2 测站也具有高丰度。总体分布呈现自近海区以及河口内区分别向河口区递增的态势。位于河口内区的 S3、S4、S21 测站丰度略高于近海区(图 4)。总体上,九龙江河口区浮游植物丰度的平面分布和季节变化受优势类群(中肋骨条藻、浮动弯角藻)的影响很大,基本与其呈现一致的分布趋势。

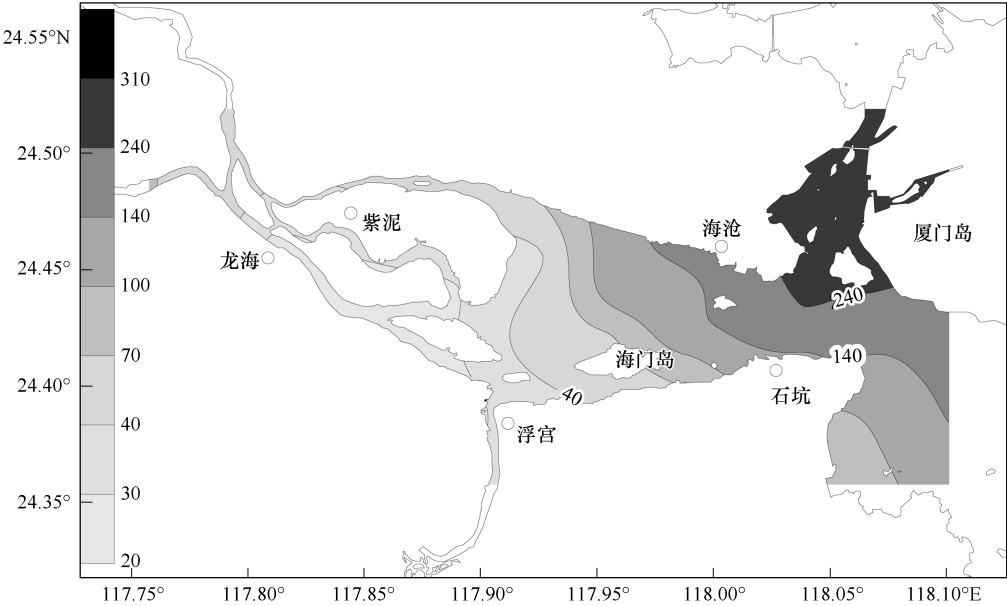


图 2 九龙江河口春季浮游植物平均丰度的空间分布(×10³ 个/L)

Fig. 2 Spatial distribution of average abundance of phytoplankton in spring

2.4 优势类群的季节变化及分布特征

参考有关报道^[23],并结合本次调查的浮游植物细胞丰度的种间分配情况,本文以优势度 $Y \geq 0.02$ 的种类作为群落的优势种,均为硅藻(表 4)。夏季集中为单一类群,中肋骨条藻细胞丰度最大,占总丰度的比例最

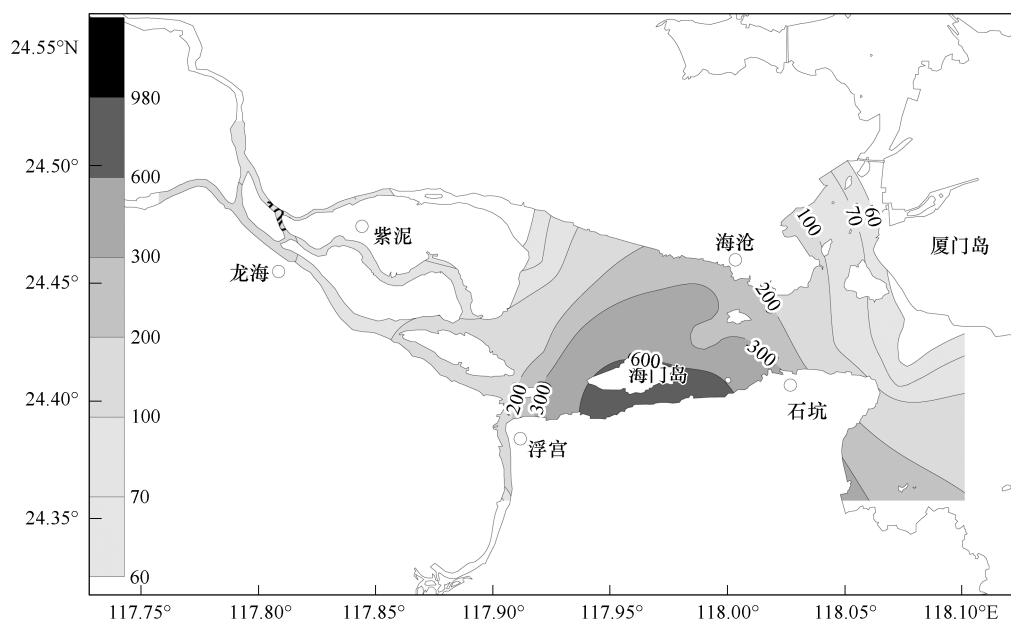
图3 九龙江河口夏季浮游植物平均丰度的空间分布($\times 10^3$ 个/L)

Fig. 3 Spatial distribution of average abundance of phytoplankton in summer

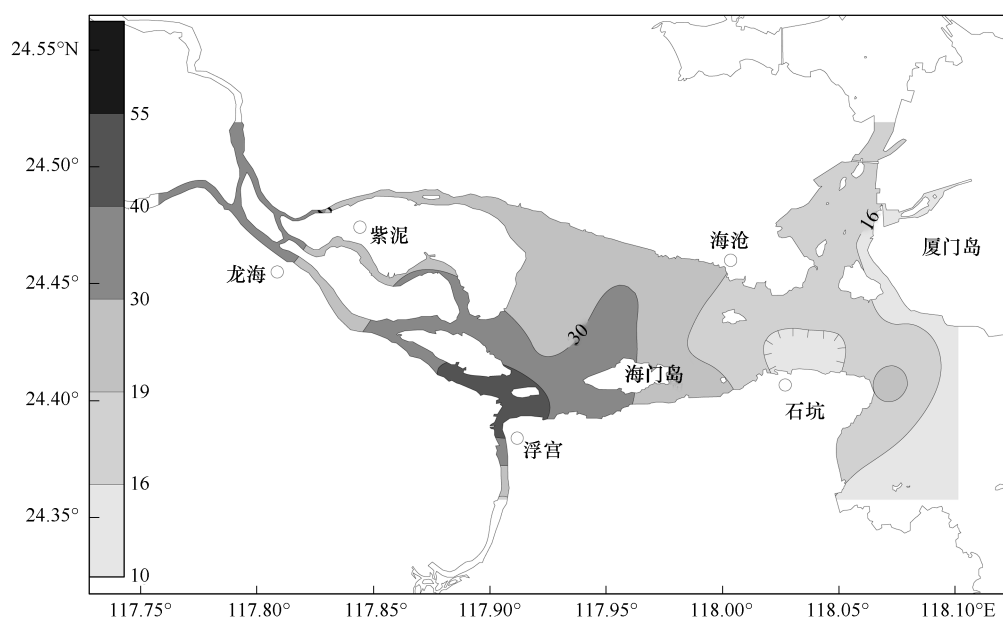
图4 九龙江河口秋季浮游植物平均丰度的空间分布($\times 10^3$ 个/L)

Fig. 4 Spatial distribution of average abundance of phytoplankton in autumn

大,检出率较高,因而优势度极大,为0.77,但并未达到赤潮发生的丰度阈值($\times 10^6$ 个/L)。春季,中肋骨条藻优势度退为第二,优势度为0.28,仍有较大丰度和比例。浮动弯角藻在春季为第一优势种,优势度为0.41,未达到赤潮发生的丰度阈值。海链藻位居第三,优势度0.04。微小环藻居第四,优势度0.03。秋季,中肋骨条藻优势度降低为0.37,但仍延续夏季的高丰度。颗粒直链藻在秋季丰度增长,检出率增高,优势度为0.04,成为第二优势种。具边圆筛藻在秋季丰度增长,检出率增高,优势度为0.04,成为第三优势种。

优势类群在浮游植物丰度的平面分布和季节变化中起重要作用。中肋骨条藻在春、夏、秋3个季节适应的环境范围均很广,特别是夏季在群落中占绝对优势,各季节均有较高优势度($Y>0.1$),但其分布特征以及密集中心有较大季节差异。春季,除河口内区的S1—S6测站未检出,其他测站均有。高值区出现在海门岛南部

表 4 九龙江河口浮游植物优势类群的季节变化 ($Y \geq 0.02$)

Table 4 Seasonal variation of dominant species of phytoplankton in Jiulongjiang Estuary ($Y \geq 0.02$)		
优势种及优势度 Dominant species and Menaughton index		
春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn
浮动弯角藻 <i>Eucampia zodiacus</i> , 0.41	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> , 0.77	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> , 0.37
中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> , 0.28		颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i> , 0.06
海链藻 <i>Thalassiosira</i> sp., 0.04		具边圆筛藻 <i>Coscinodiscus maginatus</i> , 0.04
微小环藻 <i>Cyclotella caspia</i> , 0.03		

及东部海域,这是咸淡水交汇融合较多的水域,总体分布趋势是河口内区的淡水水域向西港海域增长,在河口区丰度最大(图 5)。夏季,除河口内区个别测站(S1、S2、S4、S21)未检出,其他测站均有。高值区出现在海门岛南部 S7 及东南部 S9 测站,这是咸淡水交汇融合较多的水域,总体分布趋势是河口内区向西港海域增长,在海门岛南部丰度最大(图 6)。秋季,除河口内区个别测站(S1、S2、S21)未检出,其他测站均有。高值区出现在浮宫的 S6 测站,及海门岛东南部 S9 测站,这是咸淡水交汇融合较多的水域,总体分布趋势自近海区以及河口内区分别向河口区递增(图 7)。

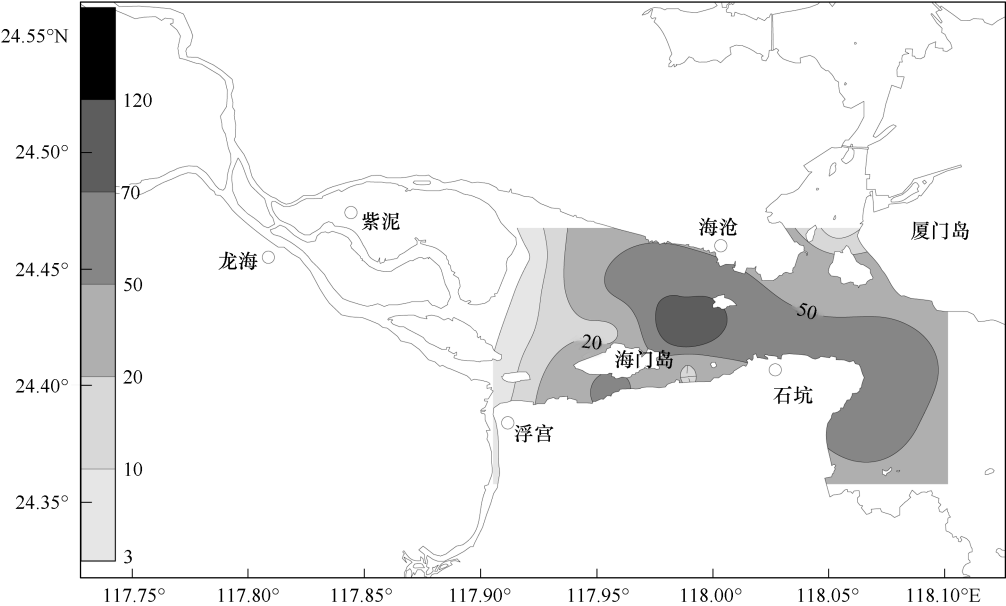
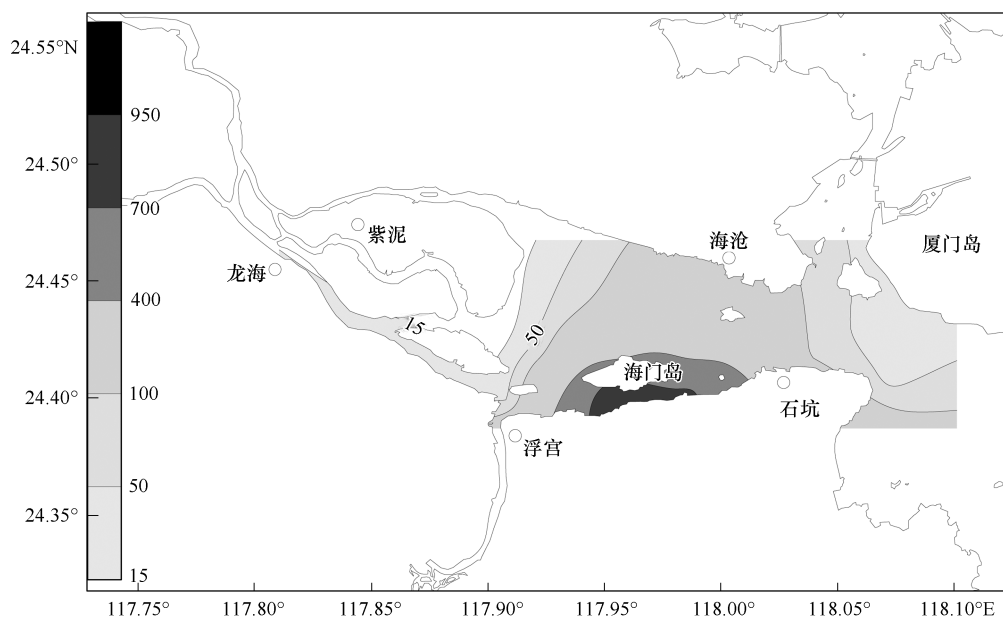
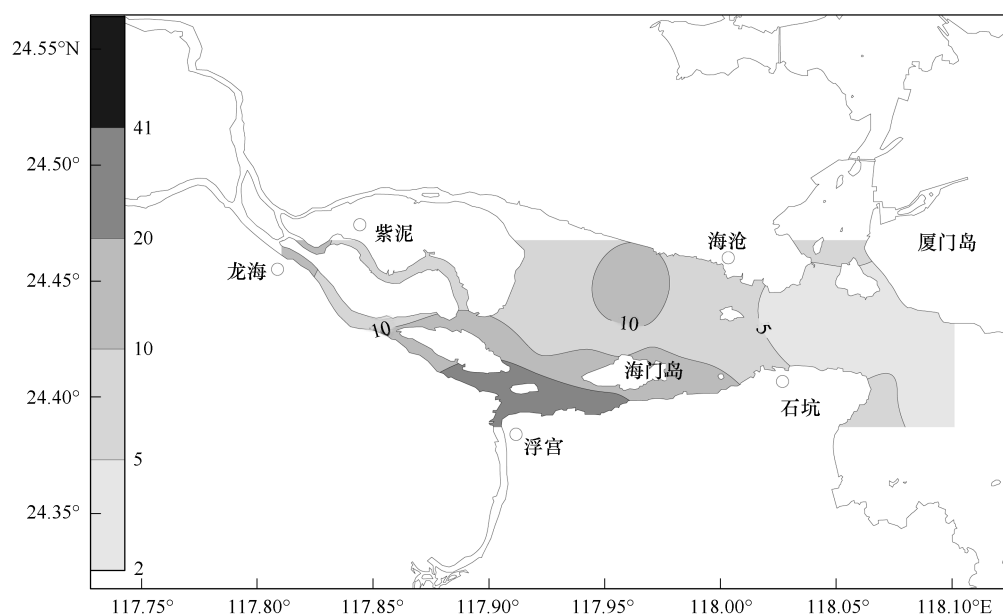


图 5 春季中肋骨条藻细胞丰度的空间分布 ($\times 10^3$ 个/L)

Fig. 5 Spatial distribution of average abundance of *Skeletonema costatum* in spring

2.5 群落结构特征及季节变化

群落多样性是表征群落特征的群落稳定性的重要参数,本文根据多样性指数对测度多样性的着重点、对样本的敏感程度以及使用的广泛程度等^[18]选用 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数,来对调查区样品分析的数据进行多样性分析。九龙江河口不同水域的浮游植物种类组成不同,站间差异大,因而物种多样性指数(H')及均匀度(J')空间差异明显。物种多样性指数的空间变动剧烈(表 5)。河口内区的 H' 保持较高水平,变动较缓和。秋季 S6 测站因优势种(中肋骨条藻)集中致使 H' 最低。河口区 H' 变动剧烈,尤其在夏季,海门岛海域 H' 相对较低,变动较大,这是优势种(中肋骨条藻)集中单一所致。并且海门岛南部海域的 S7、S8、S9 及河口区 S16、S17 测站其 $H' < 1.0$,浮游植物群落结构受损。秋季,海门岛南部海域(S7、S9) H' 相对较低,变动较大,这是优势种(具边圆筛藻)集中所致。近海区 H' 在春季和夏季相对较低,变动较大,这是优势种(浮动弯角藻)集中所致。而秋季的变动较缓和。均匀度的空间差异较缓和(表 6)。河口内区的 J' 较高,变动缓和。秋季 S6 测站因优势种(中肋骨条藻)集中致使 J' 最低。河口区 J' 变动剧烈,尤其在夏季,海门岛

图6 夏季中肋骨条藻细胞丰度的空间分布($\times 10^3$ 个/L)Fig. 6 Spatial distribution of average abundance of *Skeletonema costatum* in summer图7 秋季中肋骨条藻细胞丰度的空间分布($\times 10^3$ 个/L)Fig. 7 Spatial distribution of average abundance of *Skeletonema costatum* in autumn

南部 S7 测站是优势种(中肋骨条藻)的密集中心,群落结构单一。近海区 J' 除春季个别测站(S12)有浮动弯角藻聚集之外,群落结构相对稳定,变动缓和。

季节变化上(表5,表6),春季的物种多样性指数平均 2.41, $H' < 3.0$; 夏季平均 1.81, $H' < 3.0$; 秋季平均 2.79, $H' < 3.0$, 这都表明该水域的浮游植物群落结构并不稳定。由于中肋骨条藻在夏季的高丰度和高检出率,优势类群的构成过度集中为单一而导致物种多样性指数最低。均匀度的变化,河口内区水域自春季最高,再降低至秋季。河口区个别测站(S16、S17)在夏季降为最低,总体上表现自春季增长到秋季。近海区自春季最低,在增长至秋季。夏季的浮游植物群落结构相对简单,各大类群丰度的分布不均导致均匀度最低。总体

上,优势类群中肋骨条藻和浮动弯角藻的数量庞大,使得其它物种的种间竞争处于弱势地位,导致群落结构简单化,种间分布不均匀,优势种突出,多样性降低,因而浮游植物群落多样性随着优势类群细胞丰度的季节变化而变动。

表 5 九龙江河口的浮游植物物种多样性指数的时空变化

Table 5 Seasonal and spatial variation of diversity index in Jiulongjiang Estuary

采样水域 Sampling area	站位 Site	H'		
		春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn
河口内区 Freshwater zone	S1	2.93	3.208	2.875
	S2	3.56	3.206	3.233
	S3	3.00	2.722	2.669
	S4	2.79	3.252	2.620
	S5	3.14	2.64	2.135
	S6	2.77	2.279	1.524
河口区 Brackish water zone	S21	2.94	3.476	3.012
	S7	2.76	0.2328	1.992
	S8	2.98	0.9322	2.775
	S9	2.90	0.445	1.891
	S13	3.46	1.046	2.853
	S14	1.45	—	2.856
近海区 Sea water zone	S15	2.89	1.756	2.753
	S16	2.31	0.5251	2.677
	S17	1.49	0.4104	2.954
	S10	2.22	1.978	3.402
	S11	1.82	2.295	3.091
	S12	1.95	1.596	3.470
平均 H' mean	S18	1.06	1.656	3.193
	S19	1.44	1.961	3.757
	S20	0.59	2.095	2.946
		2.41	1.81	2.79

—: S14 测站夏季无样品

表 6 九龙江河口的浮游植物群落均匀度的时空变化

Table 6 Seasonal and spatial variation of species evenness in Jiulongjiang Estuary

采样水域 Sampling area	站位 Site	J'		
		春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn
河口内区 Freshwater zone	S1	0.77	0.7423	0.703
	S2	0.84	0.7548	0.748
	S3	0.84	0.6806	0.640
	S4	0.84	0.8788	0.670
	S5	0.80	0.6759	0.502
	S6	0.75	0.5833	0.347
河口区 Brackish water zone	S21	0.80	0.869	0.753
	S7	0.77	0.0056	0.478
	S8	0.74	0.2122	0.679
	S9	0.76	0.1048	0.445
	S13	0.85	0.2614	0.672
	S14	0.36	—	0.685
近海区 Sea water zone	S15	0.72	0.4064	0.648
	S16	0.59	0.1344	0.630
	S17	0.47	0.1026	0.708
	S10	0.53	0.4504	0.816
	S11	0.52	0.5146	0.756
	S12	0.53	0.3633	0.778
平均 J' mean	S18	0.30	0.3769	0.716
	S19	0.38	0.4465	0.830
	S20	0.17	0.5126	0.694
		0.64	0.44	0.66

—: S14 测站夏季无样品

2.6 浮游植物群落的年际变化

有关九龙江河口浮游植物的生态调查,自 20 世纪 80 年代以来断断续续进行过多次^[4-12]。数据资料较为齐全的有 1986—1987 年的 4 季度海岛调查^[5-6]、1992—1993 年的 6 个航次的厦门海域环境规划调查^[7-10]以及 2004 年厦门海域水质调查结果^[11-12]。调查研究海域集中在九龙江河口咸淡水区及厦门西港海域,即是厦门岛至海门岛一线海区(图 1)。而九龙江河口内区的淡水水域因调查站位未设置,数据与文献资料相对匮乏。以往历史资料表明厦门西港及河口区(海门岛附近海域)的浮游植物种类较丰富,类群结构以硅藻、甲藻、蓝藻常见,种类组成与丰度的季节变化明显^[4-11]。

与历史资料对比,本次调查由于河口内区淡水水域的绿藻、蓝藻、黄藻等类群的检出,种类组成变化大,物种更丰富,丰度的季节性变化明显。本次调查平均丰度为 219.46×10^3 个/L,1986—1987 年为 213.51×10^3 个/L,1992—1993 年为 253.22×10^3 个/L,2004 年为 402.76×10^3 个/L。丰度比 2004 年同期有较大降幅,比 1992—1993 年有较小降幅,与 1986—1987 年调查结果接近,表明即便本次调查涵盖淡水水域,但是淡水藻类类群并未贡献较大的丰度。同时,厦门西港及河口咸淡水区的浮游植物丰度较之以往相同区域的降低也是导致丰度年际降低的原因之一。

浮游植物优势类群较之史料,有重大变更,中肋骨条藻仍然成为第一优势种,但优势度有较大降幅(表 8)。优势类群在 1986—1987 年集中为中肋骨条藻,优势度为 0.71。同时还囊括细胞及个体较小(50—

200 μm) 的藻类, 多细胞群体, 是亚热带海区常见种类, 如尖刺伪菱形藻、菱形海线藻, 其优势度较低, 分别为 0.03、0.02。1992—1993 年, 总体上变更不大, 多细胞群体占优, 中肋骨条藻的优势度增为 0.79。菱形海线藻、冰河星杆藻的优势度均为 0.02。单细胞大个体特征的洛氏角毛藻 (160—300 μm) 逐渐成为优势类群之一。2004 年, 中肋骨条藻优势度降低为 0.44。优势类群以细胞较大 (140—300 μm) 的圆筛藻组成, 属于单细胞个体。琼氏圆筛藻有较高优势度为 0.15, 星脐圆筛藻为 0.07, 格氏圆筛藻为 0.04。2009 年的本次调查发现, 中肋骨条藻周年检出, 优势度为 0.48。圆筛藻的优势地位下降, 具边圆筛藻仅为 0.04。咸淡水特性的颗粒直链藻 (小细胞链状个体) 成为优势种之一, 优势度为 0.09。小细胞链状个体的浮动弯角藻优势度为 0.34。优势类群的变更与营养盐结构的改变有关, 大细胞或单个体的藻类常需要 NO_3^- 的充足供给, 而小细胞或多细胞群体对 NO_3^- 的需求不高^[24-26]。

表 8 九龙江河口浮游植物优势类群的年际变化 ($Y \geq 0.02$)Table 8 Interannual variation of dominant species and McNaughton index (Y) of phytoplankton in Jiulongjiang Estuary ($Y \geq 0.02$)

主要优势种及优势度 (Y) Dominant species and McNaughton index (Y)			
1986—1987 年	1992—1993 年	2004 年	2009 年
中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> , 0.71	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> , 0.79	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> , 0.44	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> , 0.48
尖刺伪菱形藻 <i>Pseudonitzschia pungens</i> , 0.03	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i> , 0.02	琼氏圆筛藻 <i>Coscinodiscus jonesianus</i> , 0.15	浮动弯角藻 <i>Eucampia zodiacus</i> , 0.34
菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i> , 0.02	冰河星杆藻 <i>Asterionellopsis glacialis</i> , 0.02	星脐圆筛藻 <i>Coscinodiscus asteromphalus</i> , 0.07	颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i> , 0.09
	洛氏角毛藻 <i>Chaetoceros lorenzianus</i> , 0.02	格氏圆筛藻 <i>Coscinodiscus granii</i> , 0.04	具边圆筛藻 <i>Coscinodiscus marginatus</i> , 0.04

3 影响浮游植物群落的主要因素

3.1 盐度

盐度是河口区生境的重要环境要素, 特别是在咸淡水交汇区, 盐度变化剧烈, 对浮游植物的分布及丰度变化造成极大的时空差异^[27-29], 并且浮游植物种类组成与盐度梯度适应性相一致^[29-30]。从调查情况看, 九龙江河口不同生态类型的浮游植物在不同盐度范围生活, 淡水藻类占有较大比例, 而一些生理耐受性较强的硅藻分布范围较广。在淡水区, 全年盐度不高于 11, 适于淡水藻类生长。绿藻、蓝藻繁盛, 黄藻、裸藻能检出, 部分广盐性的硅藻也能存活^[21-22], 如, 中肋骨条藻能在河口内区的个别测站在秋季检出较高细胞丰度。咸淡水区, 淡水与海水混合交融, 盐度变动剧烈, 最低盐度可为 7, 最高盐度可达 28。由于盐度的不稳定, 淡水藻类难以适应该处生境, 绿藻、蓝藻零星检出, 广盐性的硅藻类繁盛占优。该区检出种类的季节变化大, 但浮游植物易在此聚集为高丰度, 尤其在夏、秋季明显 (图 3, 图 4)。近海区全年盐度不低于 22, 以近岸广温广盐性硅藻为主, 甲藻、部分蓝藻也能检出, 并有外海种类。总体上, 九龙江河口浮游植物种类组成的季节变化因硅藻类群的变动而体现, 属于典型的亚热带浮游植物区系特征。浮游植物丰度也由于硅藻优势类群的密集而出现高值。本次调查的春季, 浮游植物丰度与盐度的二次项回归拟合关系较好, 回归方程为 $Y = -0.001X^2 + 0.298X - 4.896$ ($R = 0.865$, $n = 32$, $P = 0.001$)。夏季与盐度无显著拟合关系, 表明盐度并非造成该季节浮游植物丰度分布差异的主要因素, 而另有它因。秋季与盐度的三次项回归拟合关系较好, 回归方程为 $Y = 0.01X^3 - 0.507X^2 + 6.522X + 20.209$ ($R = 0.784$, $n = 35$, $P = 0.001$)。而周年的浮游植物丰度与盐度的拟合关系并不显著。

3.2 营养盐

营养盐是浮游植物赖以生存的主要环境因子之一, 营养盐的变化会直接影响到浮游植物的数量和分布^[31-32]。由于藻类在资源利用上的异质性, 不同营养要求的种之间存在着竞争和共存的现象, 因而, 河口区浮游植物群落结构及其初级生产对营养盐结构变动的响应较为强烈^[32-34]。淡水输入补充的高 SiO_4 浓度, 利于硅藻在夏季成为浮游植物群落最主要的类群, 在浮游植物群落由硅藻主导型向鞭毛藻主导型演变的过程中起着十分重要的作用^[35-36]。受九龙江淡水影响, 九龙江河口与毗邻的厦门近海和厦门东侧海域相比最大的

特点是 SiO_4 含量居高不下^[5,10-11]。硅藻的生长速率经常被可利用的硅以 SiO_4 的形式限制^[37-38],高 SiO_4 浓度、低盐度水体在水温高于 27℃ 时容易诱发赤潮生物中肋骨条藻的爆发性增殖^[7-11,39]。九龙江河口区及近海区常年成为中肋骨条藻的密集中心(图 5—图 7),特别在夏季中肋骨条藻几乎是以纯种的姿态出现(占总丰度的 90% 以上),并能分布到河口内区的淡水水域(图 6)。即便在厦门西港海区,例如鼓浪屿南部海面,春季即可成为浮游植物(中肋骨条藻)的密集中心(图 5)。所幸该海域海水交换顺畅,每次短暂的水华过后并无大碍。另一赤潮种,也即春季首要的优势种浮动弯角藻,其分布特征与春季浮游植物丰度分布态势一致(图 8),在高营养盐含量的河口内区淡水水域检出较少,河口咸淡水区次之,在低营养盐的近海区密集高丰度,这与营养盐的分布趋势相反。

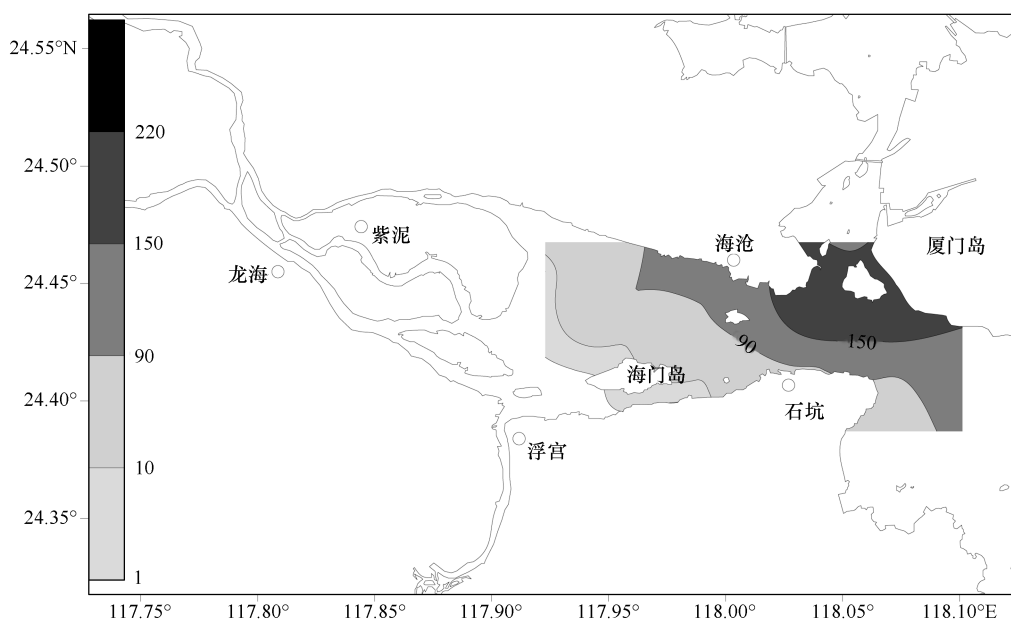


图 8 春季浮动弯角藻细胞丰度的空间分布 ($\times 10^3$ 个/L)

Fig. 8 Spatial distribution of average abundance of *Eucampia zodiacus* in Spring

淡水藻类类群中,蓝藻类颤藻,绿藻类栅藻、平裂藻等绿球藻目的种类被认为是富营养的种类^[40-41],高营养盐浓度的淡水生境是夏季绿球藻目高峰的必要条件。它们细胞个体较小,有利于吸收营养盐,而且由于它们繁殖周期短,对营养的变化能做出迅速反应^[42-43]。绿球藻目在九龙江河口内区淡水水域的种类丰富,有一定丰度。九龙江河口内区的 NO_3^- 浓度一直居高不下,是该水域 N 的主要存在形态。较高的 NO_3^- 利于绿藻与裸藻等鞭毛藻类的生存,浮游植物群落结构大多由鞭毛藻类主导^[24-25,32,42-43]。而且在九龙江河口内区,颤藻、席藻、栅藻种类周年常见,其丰度分布与营养盐梯度,特别是 PO_4^{3-} 的高浓度有着极大的相关性^[31,33,37]。

本次调查的周年浮游植物丰度与 SiO_4 的三次项拟合关系较好,回归方程为 $Y = -2.078X^3 + 30.701X^2 - 108.973X + 191.422$ ($R = 0.294, n = 96, P = 0.044$),与 NO_3^- 的复合线性拟合关系较好,拟合方程为 $Y = 0.678X + 98.410$ ($R = 0.251, n = 92, P = 0.015$),与 NH_4^+ 无显著拟合关系,与 PO_4^{3-} 的幂函数拟合关系较好,方程为 $Y = -0.518\ln X + 10.829$ ($R = 0.242, n = 92, P = 0.019$)。浮游植物分布与丰度变化受环境因素的影响很大,由于生态环境和动力学过程的复杂性,更多的结论有待于实验或现场工作去验证和完善。

4 结论

九龙江河口 2009 年三季度的浮游植物共记录 7 个门类 75 属 135 种。主体是硅藻,绿藻次之,甲藻和蓝藻较少,黄藻检出率高,裸藻和金藻零星检出。绿藻在河口内区比硅藻更占优势。种类组成的季节变化明显,空间差异大。根据浮游植物的生态类型及其生境特征大致可分为三大类群。浮游植物的密集中心不同,丰度分布由优势类群的丰度所决定。中肋骨条藻和浮动弯角藻的细胞丰度庞大,导致群落结构简单化,种间分布

不均匀,优势种突出,多样性降低。与史料比对,种类组成更丰富,丰度年际降低,优势类群有重大变更。盐度和营养盐是九龙江河口浮游植物的分布及丰度时空变化的主要影响因素,与浮游植物丰度存在较为显著的线性、复合线性、多项回归拟合关系。由于河口区生态环境和动力学过程的复杂性,调控浮游植物的组成、分布及变动的环境因素的认识有待深入研究。

References:

- [1] McKinney F K, Hageman S J. Paleozoic to modern marine ecological shift displayed in the northern Adriatic Sea. *Geology*, 2006, 34(10): 881-884.
- [2] Jaoshvili S. The rivers of the Black Sea//Khomerki I, Gigineishvili G, Kordadze A, eds. Technical Report 71, European Environment Agency. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). *Estuaries: Where Rivers Meet The Sea*, 2003.
- [3] GEF, IOC/UNESCO, UNEP/GPA. Report from the International Workshop on Freshwater Coastal-marine Management Interlink Ages. Mexico: The Global Forum on Oceans, Coasts and Islands, 2006.
- [4] Comprehensive Oceanographic Survey Office of Ocean Group, Science and Technology Commission, P. R. C. Comprehensive Oceanographic Survey Report of Oceans of Bohai, Huanghai, Donghai and Nanhai (Fifth Part), On Plankton of Fujian Sea (Sep. 1958-Dec. 1959). Beijing: China Ocean Press, 1961.
- [5] Yang Q L. Study of phytoplankton species in Xiamen Harbour (Second Part). *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1988, 7(1): 1-10.
- [6] Comprehensive Oceanographic Survey Office of Ocean Islands, Xiamen. Collected Papers on Oceanic Resource in Island of Xiamen Sea (Second Part). Beijing: China Ocean Press, 1994: 32-40.
- [7] Lin G M, Yang Q L, Lin J M. Relationship between phytoplankton and environment factors in waters around Xiamen Island. *Marine Science Bulletin*, 1993, 12(6): 40-45.
- [8] The Third Institute of Oceanography, SOA. Collected Papers on Red Tide Survey and Study in Xiamen Harbour. Beijing: China Ocean Press, 1993.
- [9] Li W Q, Zheng A R, Huang X M, Chen Q H, Wang X, Cai A G, Wang Q C. Biochemical composition in the phytoplankton and the effect of environmental factors in Xiamen West Harbour and the Jiulong River Estuary. *Marine Environmental Science*, 1998, 17(4): 37-41.
- [10] Lin H, Zhang Y B, Chen J M. Eutrophication assessment of seawater for Xiamen sea area. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2002, 21(2): 154-161.
- [11] Chen B H. Long term variation of phytoplankton and response to environmental factors in Xiamen Sea//The Third Institute of Oceanography, SOA. The Third Collections of Marine Science Researches of The Third Institute of Oceanography, SOA. Xiamen: The Third Institute of Oceanography, 2008: 48-57.
- [12] He Q, Xu K C, Wu S S, Lin J Y, Chen B H, Lin C, Lin H, Zhang Y B, Chen J M, Chen W F, Lin L B, Lu M L, Ji W D. The correlation between phytoplankton diversity and apparent oxygen increment to the prewarning of red tide events. *Acta Oceanologica Sinica*, 2008, 30(2): 111-116.
- [13] State Bureau of Technical Supervise. The Specification for Oceanographic Survey-marine Biological Survey (GB/T12736. 6—2007). Beijing: China Standard Press, 2007: 30-35.
- [14] Jin D X, Chen J H, Huang K G. The Common Seaweeds in China Sea. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1965.
- [15] Hu H J, Li Y Y, Wei Y X, Zhu H Z, Chen J Y, Shi Z X. Algae in Fresh Waters of China. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1980.
- [16] Jin D X, Chen Z D. Benthic Diatoms in China Sea (First and Second Part). Beijing: Ocean Press, 1960.
- [17] Sun J, Liu D Y. The preliminary notion in nomenclature of common phytoplankton in China seas waters. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(3): 271-286.
- [18] Sun J, Liu D Y. The application of diversity indices in marine phytoplankton studies. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 26(1): 62-75.
- [19] Lim P T, Leaw C P, Usup G, Kobiyama A, Koike K, Ogata T. Effects of light and temperature on growth, nitrate uptake, and toxin production of two tropical dinoflagellates: *Alexandrium tamiyavanichii* and *Alexandrium minutum* (Dinophyceae). *Journal of Phycology*, 2006, 42(4): 786-799.
- [20] Vila M, Giacoble M G, Masó M, Gangemi E, Penna A, Sampedro N, Azzaro F, Camp J, Galluzzi L. A comparative study on recurrent blooms of *Alexandrium minutum* in two Mediterranean coastal areas. *Harmful Algae*, 2005, 4(4): 673-695.
- [21] Moita M T, Vilarinho M G. Checklist of phytoplankton species off Portugal: 70 years (1929—1998) of studies. *Portugaliae Acta Biologica*, 1998, 18(1/4): 5-50.
- [22] Gameiro C, Cartaxana P, Cabrita M T, Brotas V. Variability in chlorophyll and phytoplankton composition in an estuarine system. *Hydrobiologia*, 2004, 525(1/3): 113-124.
- [23] Xu Z L, Chen Y Q. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea. *Journal of Ecology*, 1989, 8(4): 13-15.
- [24] Malone T C. Algal size//Morris I, ed. The Physiological Ecology of Phytoplankton. London: Blackwell Scientific Publications, 1980: 433-463.
- [25] Taguchi S H, Saito H, Kasai H, Kono T, Kawasaki Y. Hydrography and spatial variability in the size distribution of phytoplankton along the Kurile Islands in the western subarctic Pacific Ocean. *Fisheries Oceanography*, 1992, 1(3): 227-237.

- [26] Cloern J E. Our evolving conceptual model of the costal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 210: 223-253.
- [27] Wong M W, Townsend D W. Phytoplankton and hydrography of the Kennebec estuary, Maine, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 1999, 178: 133-144.
- [28] Muylaert K, Sabbe K. Spring phytoplankton assemblages in and around the maximum turbidity zone of the estuaries of the Elbe (Germany), the Schelde (Belgium/The Netherlands) and the Gironde (France). *Journal of Marine Systems*, 1999, 22(2/3): 133-149.
- [29] Muylaert K, Sabbe K, Vyverman W. Changes in phytoplankton diversity and community composition along the salinity gradient of the Schelde estuary (Belgium/The Netherlands). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009, 82(2): 335-340.
- [30] Gómez N, Hualde P R, Licursi M, Bauer D E. Spring phytoplankton of Río de la Plata: a temperate estuary of South America. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 61(2): 301-309.
- [31] Hodgkiss I J, Lu S H. The effects of nutrients and their ratios on phytoplankton abundance in Junk Bay, Hong Kong. *Hydrobiologia*, 2004, 512(1/3): 215-229.
- [32] Richardson T L, Pinckney J L, Paerl H W. Responses of estuarine phytoplankton communities to nitrogen form and mixing using microcosm bioassays. *Estuaries and Coasts*, 2001, 24(6): 828-839.
- [33] Malone T C, Conley D J, Fisher T R, Glibert P M, Harding L W, Sellner K G. Scales of nutrient-limited phytoplankton productivity in Chesapeake Bay. *Estuaries and Coast*, 1996, 19(2): 371-385.
- [34] Bernhard A E, Peele E R. Nitrogen limitation of phytoplankton in a shallow embayment in northern Puget Sound. *Estuaries*, 1997, 20(4): 759-769.
- [35] Gibb S W, Cummings D G, Irigoien X, Barlow R G, Fauzi R, Mantoura C. Phytoplankton pigment chemotaxonomy of the northeastern Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2001, 48(4/5): 795-823.
- [36] Furuya K, Hayashi M, Yabushita Y, Ishikawa A. Phytoplankton dynamics in the East China Sea in spring and summer as revealed by HPLC-derived pigment signatures. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2003, 50(2): 367-387.
- [37] Kennington K, Allen J R, Wither A, Shammon T M, Hartnoll R G. Phytoplankton and nutrient dynamics in the north-east Irish Sea. *Hydrobiologia*, 1999, 393: 57-67.
- [38] Wu J T, Chou T L. Silicate as the limiting nutrient for phytoplankton in a subtropical eutrophic estuary of Taiwan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, 58(1): 155-162.
- [39] Wassmann P, Ratkova T, Andreassen I, Vernet M, Pedersen G, Rey F. Spring bloom development in the marginal ice zone and the central Barents Sea. *Marine Ecology*, 1999, 20(3/4): 321-346.
- [40] Komarek J, Fott B. Chlorophyceae (Gruenalgen), ordnung: chlorococcales // Ged H P, ed. *Das Phytoplankton des Süß Wassers: Systematik and Biologie*. Stuttgart: E Schweizerbart Science Publishers, 1983: 1044-1044.
- [41] Willen E. Planktonic green algae in an acidification gradient of nutrient-poor lakes. *Archiv für Protistenkunde*, 1992, 141(1/2): 47-64.
- [42] Krienitz L, Lehmann A, Casper S J. The unique phytoplankton community of a highly acidic bog lake in Germany. *Nova Hedwigia*, 1997, 65: 411-430.
- [43] Cochlan W P, Harrison P J. Inhibition of nitrate uptake by ammonium and urea in the eukaryotic picoflagellate *Micromonas pusilla* (Butcher) Manton et Parke. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1991, 153(2): 143-152.

参考文献:

- [4] 全国海洋综合海洋调查资料 (第五册). 福建近海浮游生物和底栖生物生物量及主要种类分布记录 (1958, 9-1959, 12). 中华人民共和国科学技术委员会海洋组海洋综合调查办公室. 北京: 海洋出版社, 1961.
- [5] 杨清良. 厦门港湾海洋环境综合调查报告: 浮游植物 (II). 台湾海峡, 1988, 7(1): 1-10.
- [6] 厦门市海岛资源综合调查试验开发领导小组办公室. 厦门市海岛资源综合调查专业报告集 (第二卷). 北京: 海洋出版社, 1994: 32-40.
- [7] 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关系. 海洋通报, 1993, 12(6): 40-45.
- [8] 国家海洋局第三海洋研究所. 厦门港赤潮调查研究论文集. 北京: 海洋出版社, 1993.
- [9] 李文权, 郑爱榕, 黄贤芒, 陈清花, 王宪, 蔡阿根, 王清池. 厦门西港和九龙江口浮游植物生化组成及其环境因子效应. 海洋环境科学, 1998, 17(4): 37-41.
- [10] 林辉, 张元标, 陈金民. 厦门海域水体富营养化程度评价. 台湾海峡, 2002, 21(2): 154-161.
- [11] 陈宝红. 厦门海域浮游植物群落长期变化及其对环境要素的响应研究 // 国家海洋局第三海洋研究所. 国家海洋局第三海洋研究所第三届青年海洋科学研讨会论文集. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2008: 48-57.
- [12] 贺青, 许昆灿, 吴省三, 林建云, 陈宝红, 林彩, 林辉, 张元标, 陈金民, 陈维芬, 林力斌, 卢美鸾, 暨卫东. 浮游植物多样性与表观增氧量的关系及其在赤潮预警中的应用. 海洋学报, 2008, 30(2): 111-116.
- [13] 国家技术监督局. 《海洋调查规范》(GB/T12736.6—2007). 北京: 中国标准出版社, 2007: 30-35.
- [14] 金德祥, 陈金环, 黄凯歌. 中国海洋浮游硅藻类. 上海: 上海科学技术出版社, 1965.
- [15] 胡鸿钧, 李尧英, 魏印心, 朱惠忠, 陈嘉佑, 施之新. 中国淡水藻类. 上海: 上海科学技术出版社, 1980.
- [16] 金德祥, 陈兆弟. 中国海洋底栖硅藻类 (上、下). 北京: 海洋出版社, 1960.
- [17] 孙军, 刘东艳. 中国海区常见浮游植物种名更改初步意见. 海洋与湖沼, 2002, 33(3): 271-286.
- [18] 孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用. 海洋学报, 2004, 26(1): 62-75.
- [23] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲶渔场的关系. 生态学杂志, 1989, 8(4): 13-15.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 12 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Effect assessment of the project of grain for green in the karst region in Southwestern China: a case study of Bijie Prefecture	LI Hao, CAI Yunlong, CHEN Ruishan, et al (3255)
The effect of dispersal on the population dynamics of a host-parasite system in fragmented landscape	SU Min (3265)
The effect of spatial scales on wetland functions evaluation: a case study for coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province	OU Weixin, YE Lifang, SUN Xiaoxiang, et al (3270)
Effects of simulated nitrogen deposition on nutrient balance of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) seedlings	FAN Houbao, LIAO Yingchun, LIU Wenfei, et al (3277)
The water conservation study of typical forest ecosystems in the forest transect of eastern China	HE Shuxia, LI Xuyong, MO Fei, et al (3285)
The ecological responses of <i>Pinus tabulaeformis</i> forests in Taiyue Mountains of Shanxi to artificial Harvesting	GUO Donggang, SHANGGUAN Tielang, BAI Zhongke, et al (3296)
The influence of the long-term application of organic manure and mineral fertilizer on microbial community in calcareous fluvo-aquic soil	ZHANG Huanjun, YU Hongyan, DING Weixin (3308)
Endophytic fungal diversity of five dominant plant species in the dry-hot valley of Yuanjiang, Yunnan Province, China	HE Caimei, WEI Daqiao, LI Haiyan, et al (3315)
Seedling recruitment in desert riparian forest following river flooding in the middle reaches of the Tarim River	ZHAO Zhenyong, ZHANG Ke, LU Lei, et al (3322)
Scaling up for transpiration of <i>Pinaceae schrenkiana</i> stands based on 8hm permanent plots in Tianshan Mountains	ZHANG Yutao, LIANG Fengchao, CHANG Shunli, et al (3330)
Responses of soil enzyme activities and microbial biomass N to simulated N deposition in Gurbantunggut Desert	ZHOU Xiaobing, ZHANG Yuanming, TAO Ye, et al (3340)
Effects of Pb on growth, heavy metals accumulation and chloroplast ultrastructure of <i>Iris lactea</i> var. <i>Chinensis</i>	YUAN Haiyan, GUO Zhi, HUANG Suzhen (3350)
Effects of temperature and sap flow velocity on CO ₂ efflux from stems of three tree species in spring and autumn in Northeast China	WANG Xiuwei, MAO Zijun, SUN Tao, et al (3358)
The soil seed bank of <i>Eupatorium adenophorum</i> along roadsides in the south and middle area of Yunnan, China	TANG Yingyin, SHEN Youxin (3368)
Extracting the canopy structure parameters using hemispherical photography method	PENG Huanhua, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (3376)
The CCA analysis between grasshopper and plant community in upper reaches of Heihe River	ZHAO Chengzhang, ZHOU Wei, WANG Keming, et al (3384)
Community structure characteristics of phytoplankton in argun River Drainage Area in autumn	PANG Ke, YAO Jinxian, WANG Hao, et al (3391)
Spatial and temporal variation of phytoplankton and impacting factors in Jiulongjiang Estuary of Xiamen, China	WANG Yu, LIN Mao, CHEN Xingqun, et al (3399)
Effect of bank type on fish biodiversity in the middle-lower reaches of East Tiaoqi River, China	HUANG Liangliang, LI Jianhua, ZOU Limin, et al (3415)
Study on dynamic changes of soil and water loss along highway based on RS/GIS: an example of Yujing expressway	CHEN Aixia, LI Min, SU Zhixian, et al (3424)
The urbanization effects on watershed landscape structure and their ecological risk assessment	HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (3432)
Assessment of ecological risk of coastal economic developing zone in Jinzhou Bay based on landscape pattern	GAO Bin, LI Xiaoyu, LI Zhigang, et al (3441)
Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau	LI Jinchang, WANG Wenli, HU Guangyin, et al (3451)
Effect of chicken manure application on Cu and Zn accumulation in soil and <i>Brassica sinensis</i> L.	ZHANG Yan, LUO Wei, CUI Xiaoyong, et al (3460)
GIS analysis of structural characteristics of pollution sources in irrigable farmland in Ningxia China	CAO Yanchun, FENG Yongzhong, YANG Yinlu, et al (3468)
Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean	LIU Yan, ZHOU Xunbo, CHEN Yuhai, et al (3478)
<i>In situ</i> study on influences of different fertilization patterns on inorganic nitrogen losses through leaching and runoff: a case of field in Nansi Lake Basin	TAN Deshui, JIANG Lihua, ZHANG Qian, et al (3488)
Effects of AM fungi on leaf photosynthetic physiological parameters and antioxidant enzyme activities under low temperature	LIU Airong, CHEN Shuangchen, LIU Yanying, et al (3497)
Effects of exogenous cysteine on growth, copper accumulation and antioxidative systems in wheat seedlings under Cu stress	PENG Xiangyong, SONG Min (3504)
Review and Monograph	
The horizon scanning technology and its application prospect in Ecology	HU Zimin, LI Jingjing, LI Wei, et al (3512)
Scientific Note	
The gas exchange characteristics of four shrubs on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (3522)
Effect of DEM data at different scales on the accuracy of forest Ecological Classification system	TANG Lina, HUANG Jucong, DAI Limin (3531)
Canopy interception of rainfall by Bamboo plantations growing in the Hill Areas of Southern Jiangsu Province	JIA Yongzheng, HU Haibo, ZHANG Jiayang (3537)
Effects of exotic species slash pine (<i>Pinus elliottii</i>) litter on the structure and function of the soil microbial community	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3543)
The carbon emission analysis of Shenzhen Metro	XIE Hongyu, WANG Xixiang, YANG Muzhuang, et al (3551)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 12 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 12 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元