

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

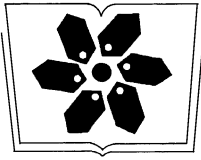
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第5期 Vol.32 No.5 **2012**

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 32 卷 第 5 期 2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

淀山湖富营养化过程的统计学特征	程 曦, 李小平, 陈小华 (1355)
拟水狼蛛对食物中镉的吸收和排泄及生物学响应	张征田, 张光铎, 张虎成, 等 (1363)
接种后共培养时间对丛枝菌根喜树幼苗喜树碱含量的影响	于 洋, 于 涛, 王 洋, 等 (1370)
沙尘暴发生日数与空气湿度和植物物候的关系——以民勤荒漠区为例	常兆丰, 王耀琳, 韩福贵, 等 (1378)
西藏牦牛 mtDNA D-loop 区的遗传多样性及其遗传分化	张成福, 徐利娟, 姬秋梅, 等 (1387)
红松阔叶混交林林隙土壤水分分布格局的地统计学分析	李 猛, 段文标, 陈立新, 等 (1396)
黄土丘陵区子午岭不同植物群落下土壤氮素及相关酶活性的特征	邢肖毅, 黄懿梅, 黄海波, 等 (1403)
毛竹高速生长期土壤碳氮动态及其微生物特性	王雪芹, 张奇春, 姚槐应 (1412)
长期 N 添加对典型草原几个物种叶片性状的影响	黄菊莹, 余海龙, 袁志友, 等 (1419)
接种 AMF 对菌根植物和非菌根植物竞争的影响	张宇亭, 王文华, 申 鸿, 等 (1428)
福州大叶榕隐头果内的小蜂群落结构与多样性	吴文珊, 陈友铃, 蔡美满, 等 (1436)
不同生境朝鲜淫羊藿生长与光合特征	张永刚, 韩 梅, 韩忠明, 等 (1442)
基于日均温度的华山松径向生长敏感温度研究	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (1450)
长江三峡库区蝶类群落的等级多样性指数	马 琦, 李爱民, 邓合黎 (1458)
甜瓜幼苗叶片光合变化特性	韩瑞锋, 李建明, 胡晓辉, 等 (1471)
双季稻田种植不同冬季作物对甲烷和氧化亚氮排放的影响	唐海明, 肖小平, 帅细强, 等 (1481)
古尔班通古特沙漠西部地下水位和水质变化对植被的影响	曾晓玲, 刘 彤, 张卫宾, 等 (1490)
流溪河水库颗粒有机物及浮游动物碳、氮稳定同位素特征	宁加佳, 刘 辉, 古滨河, 等 (1502)
采用本土蔬菜种子替代水藓评价污泥有机腐熟度	刘颂颂, 许田芬, 吴启堂, 等 (1510)
人为营养物质输入对汉丰湖不同营养级生物的影响——稳定 C、N 同位素分析	李 斌, 王志坚, 金 丽, 等 (1519)
流沙湾海草床海域浮游植物的时空分布及其影响因素	张才学, 陈慧妍, 孙省利, 等 (1527)
福寿螺的过冷却研究	赵本良, 章家恩, 罗明珠, 等 (1538)
水稻生育期对褐飞虱和白背飞虱卵巢发育及起飞行为的影响	陈 宇, 傅 强, 赖凤香, 等 (1546)
绿盲蝽越冬卵的耐寒能力	卓德干, 李照会, 门兴元, 等 (1553)
陆桥岛屿环境下社鼠种群数量的估算方法	张 旭, 鲍毅新, 刘 军, 等 (1562)
北京市居民食物消费碳足迹	吴 燕, 王效科, 逯 非 (1570)
社会经济系统磷物质流分析——以安徽省含山县为例	傅银银, 袁增伟, 武慧君, 等 (1578)
内陆河流域试验拍卖水权定价影响因素——以黑河流域甘州区为例	邓晓红, 徐中民 (1587)
专论与综述	
台风对森林的影响	刘 斌, 潘 澜, 薛 立 (1596)
海洋酸化对珊瑚礁生态系统的影响研究进展	张成龙, 黄 晖, 黄良民, 等 (1606)
三种外来入侵斑潜蝇种间竞争研究进展	相君成, 雷仲仁, 王海鸿, 等 (1616)
沉积物生源要素对水体生态环境变化的指示意义	于 宇, 宋金明, 李学刚, 等 (1623)
异化 Fe(III) 还原微生物研究进展	黎慧娟, 彭静静 (1633)
问题讨论	
锡林郭勒盟生态脆弱性	徐广才, 康慕谊, Marc Metzger, 等 (1643)
研究简报	
哥斯达黎加外海夏季表层浮游动物种类组成及分布	刘必林, 陈新军, 贾 涛, 等 (1654)



封面图说: 气候变暖下的北极冰盖——自从 1978 年人类对北极冰盖进行遥感监测以来, 北极冰正以平均每年 8.5% 的速度持续缩小, 每年 1500 亿吨的速度在融化。这使科学家相信, 冰盖缩小的根本原因是全球变暖。北极的冰盖消失, 让更大面积的深色海水暴露出来, 使海水吸收更多太阳热辐射反过来又加剧冰盖融化。由于北极冰的加速融化, 北冰洋的通航已经成为 21 世纪初全球最重要的自然地理事件和生态事件。从这张航片可以看到北极冰缘正在消融、开裂崩塌的现状。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201101110053

张才学, 陈慧妍, 孙省利, 张瑜斌, 张际标, 陈春亮. 流沙湾海草床海域浮游植物的时空分布及其影响因素. 生态学报, 2012, 32(5): 1527-1537.
Zhang C X, Chen H T, Sun X L, Zhang Y B, Zhang J B, Chen C L. Temporal and spatial distribution of phytoplankton in Liusha Bay. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5): 1527-1537.

流沙湾海草床海域浮游植物的时空分布及其影响因素

张才学, 陈慧妍, 孙省利*, 张瑜斌, 张际标, 陈春亮

(广东海洋大学海洋资源与环境监测中心, 湛江 524088)

摘要: 2008 年 2 月至 11 月对广东省流沙湾海草床海域的浮游植物进行了周年的季节调查, 结果共检出浮游植物 151 种: 冬季 57 种、春季 66 种、夏季 73 种、秋季 66 种, 其中硅藻门 44 属 123 种, 占浮游植物种类数的 81.4%; 甲藻门 11 属 26 种, 占浮游植物种类数的 17.2%; 绿藻门和蓝藻门各 1 属 1 种, 各占浮游植物种类数的 0.7%。优势种共有 26 种, 主要为夜光藻 *Noctiluca scintillans*、威氏角毛藻 *Chaetoceros weissflogii*、圆海链藻 *Thalassiosira rotula*、菱形海线藻 *Thalassionema nitzschioides* 等, 都是链状群体或个体较细长或较大的种类, 没有个体较短小的优势种群; 各季节间共有种类数在 22—43 种, Jaccard 种类相似性指数范围在 0.211—0.448, 多样性指数和均匀度平均值分别为 2.12 和 0.35, 群落结构较脆弱; 细胞丰度在 0.24×10^4 — 5.72×10^4 个/L, 秋季最高, 夏季次之, 冬季最低, 属季节单峰型变化, 与一般亚热带春、秋季出现丰度高峰不一致。相关性分析发现, 浮游植物丰度与活性硅酸盐呈极显著的正相关, 与盐度呈显著的负相关, 与其他因子不存在明显的相关性; 叶绿素 a 浓度与水温呈极显著的负相关, 与浮游动物丰度呈显著的负相关。从浮游植物吸收 N、P 的配比分析, N 为四季的营养限制因子, 但从 N、P 的绝对值看, N 和 P 都是全年的营养限制因子, 因此其水质营养类型属于亚热带贫营养型。

关键词: 浮游植物; 群落结构; 多样性; 时空分布; 海草床; 流沙湾

Temporal and spatial distribution of phytoplankton in Liusha Bay

ZHANG Caixue, CHEN Huiyan, SUN Xingli*, ZHANG Yubin, ZHANG Jibiao, CHEN Chunliang

Monitoring Center of Ocean Resource and Environment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China

Abstract: Phytoplankton is a major component of primary productivity in the ocean ecosystem. Their distribution is affected by physicochemical environmental factors such as light, water temperature, salinity and nutrients and by secondary productivity and marine macroalgae. Phytoplankton community structure, and spatial and temporal changes in phytoplankton richness, combined with correlations to factors influencing community structure can provide understanding of the effects of gradual changes in the environment and of the state of health of an ecosystem.

Liusha Bay is famous for the production of seawater cultured pearls and as the southern pearl centre of China. It is also the biggest marine macroalgae resource area in China, with abundant marine macroalgae located to the southwest of Leizhou Peninsula Guangdong (20.36° — 20.50° N, 109.80° — 110.02° E) covering an area of 69 km^2 . With the development of industry, agriculture and Marine aquaculture in recent years, the bay ecosystem and environment has deteriorated. Cultured pearl production has declined each year and macroalgal abundance has also declined.

To examine trends in seasonal variation and the environmental quality of the macroalgal area of Liusha Bay, investigations of phytoplankton community structure and of the factors likely to influence this were carried out from February to November in 2008. Phytoplankton samples were collected using a water sampler and fixed with 5% formalin and 1% Lugol's solution. In a subsequent analysis, species were identified with a microscope after concentration of samples in the

基金项目: 广东省自主创新重大科技专项(2007A032600004); 国家海洋公益性行业科研专项资助(200905005-05, 201105008-5)

收稿日期: 2011-01-11; 修订日期: 2011-06-13

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

laboratory. Temperature and salinity were tested at the time of sample collection and chlorophyll-*a* content and nutrient composition were determined using spectrophotometry.

In total, 151 species of phytoplankton were identified, with 57, 66, 73, and 66 found in winter, spring, summer and autumn, respectively. Within the samples, 123 species from 44 genera belonged to Bacillariophyta, accounting for 81.4% of the community, 26 species 11 genera belonged to Pyrrophyta, accounting for 17.2% of the community. One species from one genus belonged to Chlorophyta and one species from one genus belonged to Cyanophyta, each accounting for 0.7% of the community respectively. 26 dominant species were identified of which the most common were *Noctiluca scintillans*, *Chaetoceros weissflogii*, *Thalassiosira rotula*, and *Thalassionema nitzschioides*. Dominant species formed catenarian colonies, acerose cells and / or were fairly large individuals (so large that they could not easily be consumed by shellfish). There were no small sized dominant species. 11 Bacillariophyta and one Pyrrophyta species occurred in all seasons and 22—43 common species occurred in two seasons. The Jaccard index ranged from 0.211 to 0.448 and implied clear seasonal succession in winter and spring. The average diversity index and evenness were 2.12 and 0.35 respectively, indicating a fairly fragile community composition in this area. The abundance of phytoplankton was rather low throughout the year, due to the feeding pressure of shellfish and competition with macroalgae. Phytoplankton density ranged from 0.24—5.72 × 10⁴ cells/L with maximum density in autumn, followed by summer, spring and winter in a descending order. This finding was notable, since phytoplankton in other sub-tropical areas usually bloom in spring or autumn.

The density of phytoplankton significantly positively correlated to silicate and was negatively related to salinity, but no correlation to the other factors was found. The concentration of chlorophyll-*a* was significantly negatively correlated to water temperature and was negatively correlated to zooplankton abundance. From relative absorption data, nitrogen availability was the main nutritional limiting factor in all four seasons. However, when absolute absorption data were examined both N and P were nutritional limiting factors throughout the year. These findings suggest that the water quality of this area was of a subtropical oligotrophic type.

Key Words: phytoplankton; community structure; Shannon-Weaver index; temporal and spatial distribution; seaweed-field; Liusha Bay

流沙湾位于雷州半岛西南部徐闻县西部、雷州市西南部交界处(20.36°—20.50°N, 109.80°—110.02°E),是一个北西向葫芦形半封闭型海湾,面积约69 km²,腰部南北向的沙嘴将港湾分成内港与外港,内港是个泻湖,港口宽750 m,树枝状港汊呈长尖形峡湾,最远深入陆地16 km,中央为深10—20 m、长8 km的溺谷状深槽,底质多为砾石和砂;外港水域广,水深达5—20 m,底质多为淤泥。整个海湾的海岸带底质多为砾石、沙和泥沙,较少为沙质泥和淤泥,其上或多或少都生长着各种大型海藻或海草,部分海藻和海草在退潮时露出海面^[1]。流沙湾拥有非常丰富的海藻资源,海草床面积共约900 hm²^[2],在全国乃至全亚洲都是数量有限的海草床,是我国最大的海藻库。流沙湾是我国海水养殖密集型海湾之一,养殖面积占海域总面积的19.7%,其中贝类养殖面积占总养殖面积的91.9%,是我国著名的海水珍珠养殖生产基地和南珠中心,其珍珠年产量约占全国的70%。

近年来由于沿海地区工农业生产的发展以及海水珍珠、对虾等养殖业缺乏科学规划与管理,出现无序、无度、无偿开发的混乱局面,时有掠夺性和破坏性的开发现象,对生态环境和渔业资源造成极大的破坏,使珍珠养殖业出现萎缩趋向,并对天然海草床造成了一定的破坏。为了重新振兴我国的南珠产业,保护这片难得的“海底绿洲”,全面了解和评价流沙湾海域生态系统的变化规律和环境质量现状,笔者等对该海湾生态系统生物群落及其生态环境实施了调查,本文就浮游植物及其影响因素进行了分析,其结果和结论可为进一步研究和保护流沙湾及海草床等资源提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 样品的采集与分析

2008年2月、5月、8月和11月分别对流沙湾的浮游植物及环境因子进行了四季的周年调查,根据流沙湾的地形地貌共布设了14个测站(图1),站3和站5在养殖区内,站10、11、12、13、14靠近养殖区,站11、14位于海草床内,站6、8靠岸边一带为大型海藻和海草较多区域;站6、8、10涨潮时水深大于20 m,其他测站在退潮时水深小于8 m,其中站3、5、11、13、14在大潮退潮时水深小于4 m;站10为沙质底,其他测站为淤泥质底。

浮游植物定性样品的采集是用浅水Ⅲ型浮游生物网自底至表进行垂直拖网,定量样品是用采水器采集表层水样1 L于塑料瓶中,各加入体积分数为5%的福尔马林和1%的鲁哥氏液固定,在实验室静置沉淀24 h,浓缩至50 mL,于倒置显微镜下进行定性分析和定量分析。

水温和盐度分别采用温度计和Orion130A盐度计现场测定。叶绿素a样品是用采水器采集500 mL表层水样于塑料瓶中,加入2.5 mL浓度为10 g/L的MgCO₃悬浮液固定,用0.45 μm的醋酸微孔滤膜抽滤后,于4℃的冰箱内用丙酮(9+1)溶液萃取24 h,然后在8000 r/min的转速下离心20 min,取上清液于紫外-可见分光光度计分别在750、664、647、630 nm波长下测定其吸光值。无机营养盐的测定方法分别是:靛酚蓝分光光度法测氨氮、萘乙二胺分光光度法测亚硝酸盐、紫外分光光度法测硝酸盐、硅钼蓝分光光度法测活性硅酸盐、磷钼蓝分光光度法测活性磷酸盐^[3]。

1.2 统计方法

多样性指数

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

式中, s 为物种数, P_i 为第*i*种在全部采样中的比例($P_i = n_i \cdot N^{-1}$), n_i 为第*i*种的个体数, N 为所有种的个体总数。

均匀度

$$J = H' \cdot (\log_2 S)^{-1}$$

式中, H' 为前式的多样性指数值, S 为样品中总种类数。

优势度

$$Y = (n_i \cdot N^{-1}) \cdot f_i$$

式中, n_i 为第*i*种的总个体数; N 为所有物种的总个体数, f_i 为第*i*种在各测站出现的频率,以 $Y > 0.02$ 作为优势种。

Jaccard 相似系数^[6]

$$P = c \cdot (a + b - c)^{-1}$$

式中, a 、 b 为两不同季节浮游植物种类数, c 为两不同季节的共有种类数。

2 结果

2.1 浮游植物种类组成和丰度变化

经定性分析和定量分析,共鉴定出浮游植物4门57属151种^[7-10],其中硅藻门44属123种,占浮游植物种类数的81.4%;甲藻门11属26种,占浮游植物种类数的17.2%;绿藻门和蓝藻门各1属1种,各占浮游植物种类数的0.7%。种类数以夏季最多,达73种,春秋季节次之,均为66种,冬季最少,仅有57种(表1)。

在硅藻门中圆筛藻属种类最多,共有17种,其次为角毛藻属16种,根管藻属11种,菱形藻属9种,盒形藻属7种;在甲藻门中角藻属种类最多,有11种,其次为多甲藻属4种。4个季节均出现的广布种共有12种,

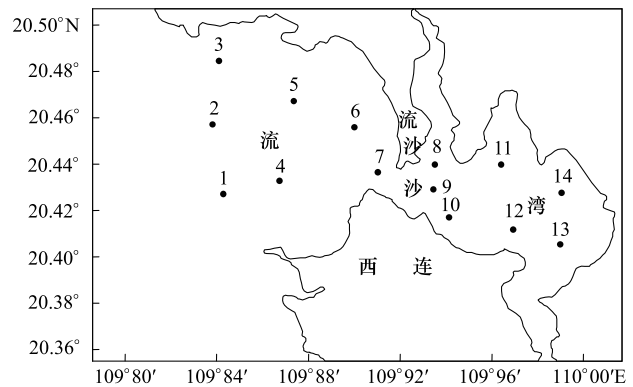


图1 流沙湾采样站

Fig. 1 Sampling stations in Liusha Bay

其中硅藻 11 种,甲藻 1 种。各季节间共有种类数在 22—43 种, Jaccard 种类相似性指数范围在 0.211—0.448 (表 2)。除了夏、秋季种类相似性指数较高外,其他季节间的种类相似性指数均较低,说明流沙湾除夏、秋季外,其他季节间浮游植物的群落结构差异较大,季节更替明显。

表 1 2008 年流沙湾浮游植物的种类组成和丰度($\times 10^4$ 个/L)的季节变化

Table 1 The seasonal variations in species composition and phytoplankton abundance in 2008

门类 Phylum	冬季 Winter			春季 Spring			夏季 Summer			秋季 Autumn		
	属 Genus	种 Species	丰度 Density	属 Genus	种 Species	丰度 Density	属 Genus	种 Species	丰度 Density	属 Genus	种 Species	丰度 Density
硅藻门 Bacillariophyta	31	50	0.18	23	52	0.12	26	59	1.20	29	63	5.71
甲藻门 Pyrrophyta	4	6	0.06	9	14	0.56	5	13	0.01	3	3	0.01
绿藻门 Chlorophyta	1	1	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
蓝藻门 Cyanophyta	—	—	—	—	—	—	1	1	0	—	—	—
合计 Total	36	57	0.24	32	66	0.68	32	73	1.21	32	66	5.72

表 2 流沙湾 2008 年季节间浮游植物种类相似性指数

Table 2 The species Jaccard Index of phytoplankton between two seasons in 2008

指标 Index	春/夏 Spring/summer	春/秋 Spring/autumn	春/冬 Spring/winter	夏/秋 Summer/autumn	夏/冬 Summer/winter	秋/冬 Autumn/winter
各季节种数 Species amount	66/73	66/66	66/57	73/66	73/57	66/57
共有种数 Same species amount	27	23	23	43	24	22
种类相似性指数 Jaccard index	0.241	0.211	0.230	0.448	0.226	0.218

细胞丰度秋季>夏季>春季>冬季,年均丰度为 1.96×10^4 个/L。浮游植物种类组成夏秋季几乎全为硅藻,冬春季甲藻种类逐渐增多,细胞数量硅藻类由夏季的 99.17% 和秋季的 99.83% 减至冬季的 75.00% 和春季的 17.65%,甲藻类则由夏季的 0.83% 和秋季的 0.17% 增至冬季的 25.00% 和春季的 82.35%,其他门类的种类则很少,仅在夏季发现蓝藻门 1 种和冬季发现绿藻门 1 种,数量极少。

2.2 浮游植物的优势种群

本次调查共采到 26 种优势种,其中春季 2 种;夏季 8 种;秋季 10 种;冬季 6 种(表 3)。这些优势种类几乎全为广温、广盐沿岸性种类,其中广温广盐广布优势种有奇异菱形藻、冰河拟星杆藻、中肋骨条藻、夜光藻;广温广盐沿岸性优势种有菱形海线藻、刚毛根管藻、长菱形藻、尖刺菱形藻、丹麦细柱藻;温带沿岸性优势种有圆海链藻、洛氏角毛藻、窄隙角毛藻、细弱海链藻、威氏角毛藻、柔弱伪菱形藻。此外也有底栖沿岸性种类美丽曲舟藻、相似曲舟藻和温带半咸淡水种类尤氏直链藻,群落结构具有亚热带和沿岸性特征。

表 3 2008 年流沙湾浮游植物的优势种

Table 3 The dominant species of phytoplankton in Liusha Bay in 2008

季节 Season	物种 Species	出现频度 Appear frequency	占细胞总量百分比 Percentage	优势度 Dominancy
冬季 Winter	夜光藻 <i>Noctiluca scintillans</i>	0.643	21.9	0.141
	美丽曲舟藻 <i>Pleurosigma formosum</i>	0.500	9.1	0.046
	尖刺菱形藻 <i>Nitzschia pungens</i>	0.500	6.6	0.033
	奇异菱形藻 <i>Nitzschia paradoxa</i>	0.429	7.4	0.032
	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	0.500	4.5	0.023
	刚毛根管藻 <i>Rhizosolenia setigera</i>	0.357	5.8	0.021
春季 Spring	夜光藻 <i>Noctiluca scintillans</i>	0.786	79.0	0.621
	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	0.571	3.8	0.022
夏季 Summer	威氏角毛藻 <i>Cheatoceeros weissflogii</i>	0.714	18.1	0.129

续表

季节 Season	物种 Species	出现频度 Appear frequency	占细胞总量百分比 Percentage	优势度 Dominancy
秋季 Autumn	圆海链藻 <i>Thalassiosira rotula</i>	0.714	16.9	0.121
	细弱海链藻 <i>Thalassiosira subtilis</i>	0.786	10.4	0.082
	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	0.786	6.7	0.053
	美丽曲舟藻 <i>Pleurosigma formosum</i>	0.929	4.5	0.042
	相似曲舟藻 <i>Pleurosigma affine</i>	0.857	3.4	0.029
	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	0.714	3.9	0.028
	奇异菱形藻 <i>Nitzschia paradoxa</i>	0.714	3.7	0.026
	圆海链藻 <i>Thalassiosira rotula</i>	0.714	20.2	0.144
	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	1.00	7.9	0.079
	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	0.786	7.3	0.057
	洛氏角毛藻 <i>Chaetoceros lorenzianus</i>	0.643	7.4	0.048
	冰河拟星杆藻 <i>Asterionella glacialis</i>	0.929	4.9	0.046
	长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i>	1.000	3.3	0.033
	丹麦细柱藻 <i>Leptocylindrus danicus</i>	0.786	3.8	0.030
	窄隙角毛藻 <i>Cheatoceeros affinis</i>	0.571	4.9	0.028
	柔弱伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	0.643	4.4	0.028
	尤氏直链藻 <i>Melosira juergensii</i>	0.571	4.6	0.026

4 个季节均为优势种的种类仅为菱形海线藻,3 个季节均为优势种的种类没有。优势度最高的是春季的夜光藻,它和次优势种菱形海线藻共占了细胞总量的 82.8%;其次是秋季的圆海链藻,它和次优势种菱形海线藻共占了细胞总量的 28.1%;夏季的第一优势种为威氏角毛藻,第二优势种为圆海链藻,它们共占细胞总量的 35.0%;冬季的第一优势种为夜光藻,其优势度为 0.141,占细胞总量的 21.9%,其它优势种的优势度都较低。

2.3 浮游植物多样性指数、均匀度和叶绿素 a 浓度的季节变化

流沙湾浮游植物各季节多样性指数和均匀度都较低,多样性指数变化范围在 1.07—3.35,平均为 2.12;均匀度变化范围在 0.18—0.54,平均为 0.35。各季节多样性指数和均匀度的排序都为秋季>夏季>冬季>春季。叶绿素 a 浓度夏季最高,秋季次之,冬季最低(表 4)。

表 4 流沙湾 2008 年各季节浮游植物的多样性、均匀度和叶绿素 a 浓度

Table 4 Diversity index, evenness and chlorophyll-a concentration of phytoplankton in different seasons in 2008

项目 Item	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	平均 Average
多样性指数 Diversity index	1.62	1.07	2.45	3.35	2.12
均匀度 Uniformity	0.27	0.18	0.41	0.54	0.35
叶绿素 a Chlorophyll-a/($\mu\text{g/L}$)	1.46	2.49	3.81	2.77	2.63

2.4 浮游植物丰度的平面分布和季节变化

流沙湾浮游植物的平面分布和季节变化各站点相差悬殊,从冬季站 3 和站 12 的 0.025×10^4 个/L 至秋季站 12 的 13.775×10^4 个/L 不等,年均值为 1.990×10^4 个/L。冬季内湾比外湾高,站 9 丰度最高,达 0.598×10^4 个/L,站 3 和站 12 最低,均为 0.025×10^4 个/L,在内湾有大陆径流注入的区域比相对封闭的区域为低;春季外湾比内湾高,往湾顶逐渐降低,站 7 丰度最大,达 1.617×10^4 个/L,站 2 次之,为 1.125×10^4 个/L,站 12 丰度最小,仅为 0.125×10^4 个/L;夏季内湾和外湾分布较均匀,没有明显的差别,站 13 丰度最大,达 1.850×10^4 个/L,站 4 和站 8 次之,各为 1.700×10^4 个/L,站 12 最小,仅为 0.350×10^4 个/L;秋季湾中部至湾口较低,内湾较高且分布较均匀,最大值位于站 12,达 13.775×10^4 个/L,站 11 次之,达 12.450×10^4 个/L,最小值位于站 7,为 1.175×10^4 个/L。在季节分布上,其平均值是秋季最高,夏季次之,冬季最低(图 2)。

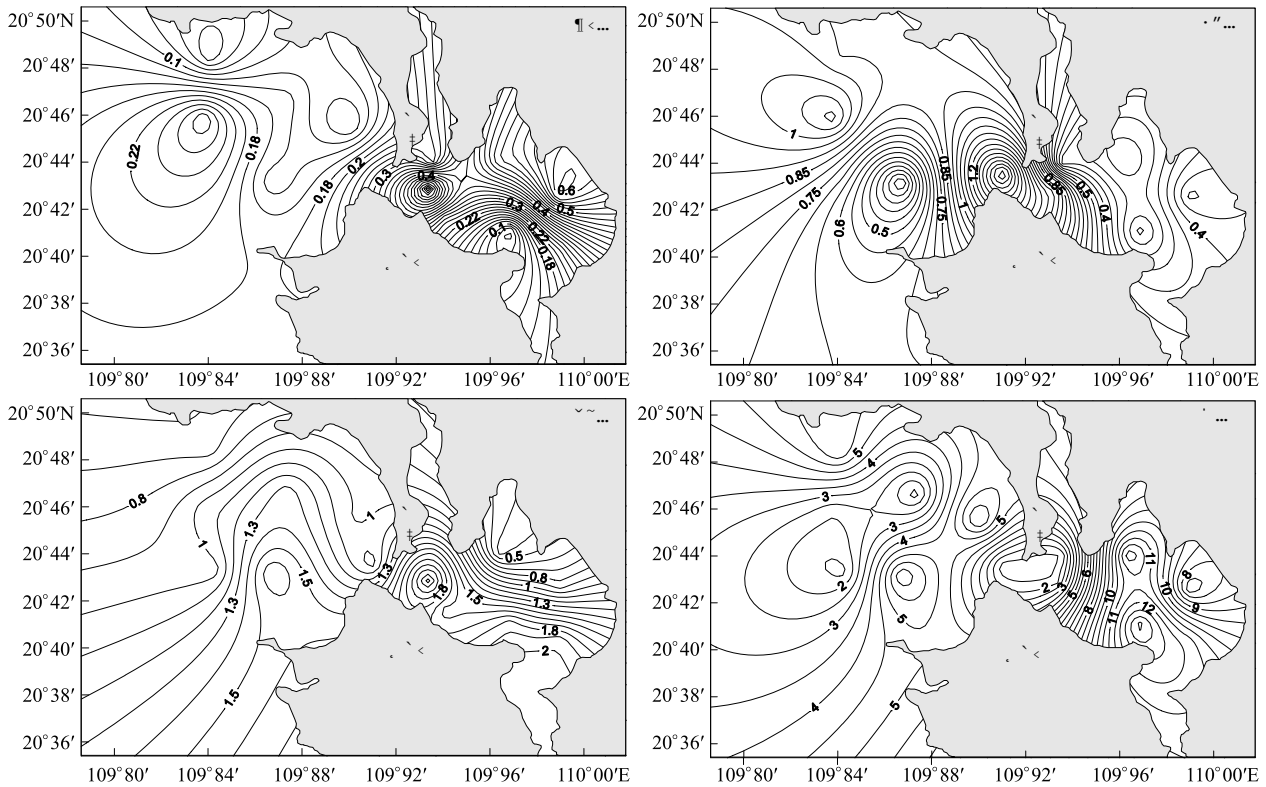


图 2 2008 年流沙湾浮游植物的平面分布和季节变化($\times 10^4$ 个/L)

Fig. 2 Horizontal distribution and seasonal changes of zooplankton in Liusha Bay in 2008

2.5 流沙湾各站点表层海水的营养盐

在平面分布上,冬季湾口的无机氮、活性磷酸盐和活性硅酸盐均较湾内的为高;春季湾口的无机氮含量比湾内的稍高,而活性磷酸盐和活性硅酸盐均较湾内的为低;夏季湾口的无机氮、活性磷酸盐和活性硅酸盐均较湾内的为低;秋季湾口的无机氮和活性硅酸盐均较湾内的为低,而活性磷酸盐却较湾内的为高。在季节变化上,无机氮含量冬季最高,春季次之,夏季最低;活性磷酸盐是秋季最高,冬季次之,夏季最低;活性硅酸盐是秋季最高,夏季次之,春季最低。各季节氮磷比均较低(表 5)。

表 5 2008 年流沙湾各季节表层海水的营养盐

Table 5 The nutrient concentration of surface seawater in different seasons in 2008

季节 Season	亚硝酸盐氮 NO ₂ ⁻ -N /(mg/L)	硝酸盐氮 NO ₃ ⁻ -N /(mg/L)	氨氮 NH ₄ ⁺ -N /(mg/L)	磷酸盐 PO ₄ ³⁻ -P /(mg/L)	硅酸盐 SiO ₃ ²⁻ -Si /(mg/L)	氮/磷 N/P	硅/磷 Si/P	硅/氮 Si/N	限制因子 Limiting factors
冬季 Winter	0.0230	0.1059	0.0121	0.0118	0.9905	11.95	83.94	7.02	N
春季 Spring	0.0089	0.0352	0.0233	0.0087	0.7057	7.75	81.11	10.47	N
夏季 Summer	0.0009	0.0177	0.0235	0.0080	1.1498	5.26	143.73	27.31	N
秋季 Fall	0.0074	0.0313	0.0101	0.0124	1.3416	3.94	108.19	27.49	N

3 讨论

3.1 流沙湾海草床海域浮游植物的群落特征

流沙湾海草床海域浮游植物丰度在秋季最高,夏季次之,冬季最低,属季节单峰型变化,与一般亚热带春、秋季出现丰度高峰不一致,也与徐闻珊瑚礁区^[11]和北海近岸海域浮游植物冬夏季出现丰度高峰不一致^[12]。全年细胞丰度都较低,有的测站甚至每升水体仅几百个细胞,这与近年来流沙湾大量养殖珍珠贝和海湾扇贝以及该海域蕴藏着丰富的大型海藻有关;贝类强大的滤食作用^[13-14]把大量的浮游植物摄食殆尽,近千公顷海

草床的海草和大型海藻吸收了该海区大量的营养盐类,特别是冬春季大型海藻生长繁盛,与浮游植物竞争营养盐^[15-18],而且某些大型海藻可能与浮游植物存在着相生相克作用^[19-20],这些因素严重抑制了浮游植物的生长繁殖,这是该海区特别是冬春季细胞丰度较低的原因之一,也是该海区营养盐含量低的原因之一。

在浮游植物丰富的海域,滤食性的动物对食物是没有选择性的,它遵从的是可得性定律,适口的食物颗粒被吞咽,过大的食物颗粒形成假粪被抛弃,在浮游植物稀少的海域,滤食性动物通过过滤大量的水体而有选择性地滤食适口的食物颗粒,较大的食物颗粒得以保留,因此,在流沙湾浮游植物群落结构中,优势种类几乎全为链状群体或个体较细长或较大的细胞(这些细胞不易被贝类所摄食)(表3),而细胞较短小的种类几乎没有,尤其是冬春季存在着大量为贝类所不摄食个体较大的夜光藻,春季较小细胞的数量占总细胞数量不足17.2%,冬季较短小细胞的数量占总细胞数量不足28%。显示浮游植物的群落受捕食者控制,在密集的贝类养殖区,贝类强大的滤食作用使得浮游植物群落主要由一些个体较大和细长或链状群体所组成,从而形成独特的贝类摄食控制群落。

浮游植物优势种群由冬春季的夜光藻演替至夏秋季的威氏角毛藻和圆海链藻。夜光藻为世界性种类,在亚热带的流沙湾海域冬春季由于水温等环境条件适宜,并缺乏敌害生物和竞争者而大量繁殖形成优势种群,夏秋季由于水温较高种群数量较少;春季优势种类较少,细胞丰度也较低,这是大量阶段性浮游幼虫摄食所致,由于夜光藻一般不为贝类和浮游幼虫所摄食,因此该季节夜光藻的优势度竟高达0.621,成为该季节浮游植物的主要组成者;夏秋季优势种类较多,但各优势种群的丰度均较低,优势度均较小(表3),这与水温较高有关,众多的暖水性和沿岸性种类在该季节大量繁殖,出现纬度越低水温越高生物多样性越高和优势种类越多的变化规律,但流沙湾海域浮游植物的多样性指数和均匀度均较低,是该海域贝类和浮游动物强大的摄食压力所致。

3.2 流沙湾海草床海域浮游植物时空分布的影响因素

流沙湾是一个贝类养殖密集型海湾,除了湾口的南面和流沙码头附近没有养殖贝类外,在周边浅海近岸水域几乎都养殖着大量的马氏珠母贝和海湾扇贝,每年的秋冬季为收获季节,秋季海湾扇贝陆续上市,冬季采收珍珠,此时期养殖贝类对浮游植物的摄食压力逐渐减小,但因海区还养殖着大量马氏珠母贝和海湾扇贝的大中贝和小贝,仍对海湾浮游植物产生强大的滤食压力,因此,流沙湾贝类对浮游植物的摄食压力初春最小,繁殖季节(3—5月,有大量的贝类幼虫)有一压力高峰,之后随着贝类的增长至初秋又出现一压力高峰。当然,流沙湾浮游植物时空分布除了贝类的摄食压力外,还存在着浮游动物的摄食压力、大型海藻的营养竞争和水温(图3)、盐度(图4)的季节变化以及其他环境因素的综合影响。

流沙湾浮游植物的平面分布是冬季内湾比外湾高,由于冬季各测站的水温均低于15℃,在此水温下,大量暖水性种类俱停止生长繁殖,暖温性种类夜光藻等则大量繁殖,成为优势种群,水温成了该季节限制浮游植物丰度的主要影响因素,这也是冬季浮游植物丰度低的主要原因之一,而其平面分布的不均匀性应与海流有关,流沙湾为泻湖型海湾,湾口区域水较深,海水交换量大,流急,混浊度高,光照条件相对较弱,这是冬季浮游植物丰度内湾比外湾高的主要原因,也是DIN(溶解无机氮)浓度内湾比外湾低的原因之一(图5)。

春季外湾比内湾高,往湾顶逐渐降低。春季水温和光照已不是浮游植物丰度的主要影响因素,该季节浮游植物的主要影响因素为海区营养盐的浓度和贝类以及浮游动物的摄食压力。春季大型海藻的生物量最大^[1],贝类和底栖动物大量繁殖,在内湾出现大量阶段性的浮游动物,这些阶段性浮游动物和贝类对浮游植物形成强大的摄食压力,这是春季浮游植物丰度外湾比内湾高的主要原因。

夏季内湾和外湾分布较均匀,没有明显的差别。夏季为丰水期,大陆径流导致内湾的盐度比外湾的低,并同时带入各种营养物质,为浮游植物的生长繁殖提供了条件,同时夏季阶段性的浮游动物(主要是贝类幼虫和底栖动物幼虫)已大量消失,内湾浮游植物的摄食压力已有所下降,与外湾低丰度的浮游植物正好相差不多,从而形成较均匀的分布格局。

秋季湾中部至湾口较低,内湾较高且分布较均匀。在枯水期的秋季,位于内湾的站11、站12、站13和站

14 浮游植物大量繁殖,形成流沙湾全年的密集区,是因为该季节该区域营养盐含量较高所致。在该季节大型海藻生物量最低,一些夏季腐烂的大型海藻^[1]和该区域在丰水期大陆径流带来的有机质经积累分解释放出较多的营养盐,秋季站 11 DIN 含量特别高(图 5)可能是大型海藻腐烂所致,这有待进一步研究。

流沙湾海域浮游植物丰度全年均较低,与该海湾营养盐含量较低有关,湾内外营养盐含量均处于国家一、二类海水水质标准之间(表 5),根据 Redfield^[21]的结论分析,N 为四季的营养限制因子,但从 N、P 的绝对值看,N 和 P 都是全年的营养限制因子,因此该海湾水质营养类型属于亚热带贫营养型。在养殖如此密集之海区营养盐含量如此之低,实属罕见,皆因该海湾为我国最大的海藻库,沿岸海域蕴藏着丰富的大型海藻,每年 11 月至翌年 5 月为大型海藻生长旺季,这些大型海藻吸收了大量的营养盐,这是流沙湾成为贫营养型海湾的主要原因,此海湾独特的群落结构特征,可为富营养化海湾生态修复之典范,值得推广借鉴。

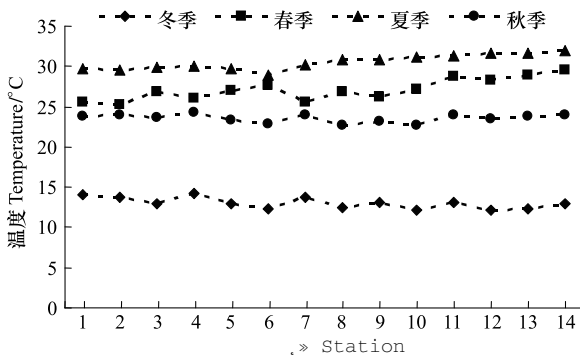


图 3 2008 年调查海区表层水温的平面分布和季节变化

Fig. 3 Horizontal distribution and seasonal changes of surface water temperature in the investigated area in 2008

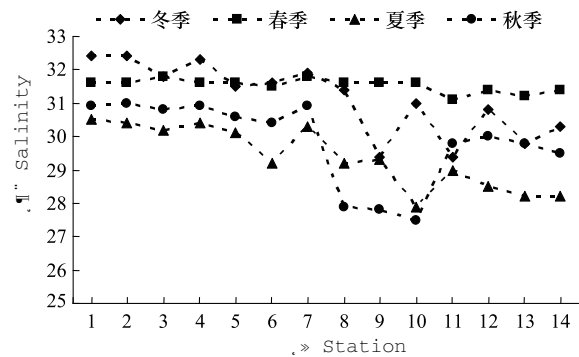


图 4 2008 年调查海区表层盐度的平面分布和季节变化

Fig. 4 Horizontal distribution and seasonal changes of surface salinity in the investigated area in 2008

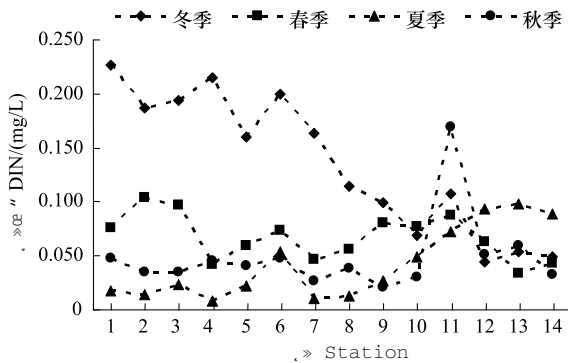


图 5 2008 年调查海区表层无机氮含量的平面分布和季节变化

Fig. 5 Horizontal distribution and seasonal changes of surface DIN in the investigated area in 2008

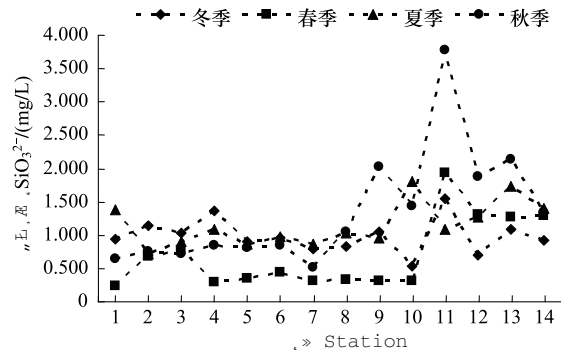


图 6 2008 年调查海区表层活性硅酸盐的平面分布和季节变化

Fig. 6 Horizontal distribution and seasonal changes of surface silicate in the investigated area in 2008

分别对各季节各测站浮游植物细胞丰度与叶绿素 a 浓度、表层水温、表层盐度和各营养盐进行相关性分析发现,浮游植物细胞丰度与活性硅酸盐呈极显著的正相关,相关系数为 0.554 ($P < 0.01, n = 56$, 双尾),与盐度呈显著的负相关,相关系数为 -0.282 ($P < 0.05, n = 56$, 双尾),与其他因子不存在明显的相关性;叶绿素 a 含量与水温呈极显著的负相关,相关系数为 -0.446 ($P < 0.01, n = 56$, 双尾),与浮游动物丰度呈显著的负相关,相关系数为 -0.297 ($P < 0.05, n = 56$, 双尾)。究其原因,浮游植物细胞丰度与叶绿素 a 含量的相关性不明显,与不同季节浮游植物优势种群的细胞大小有关,特别是冬春季的优势种群夜光藻占有相当大的比例,分别占浮游植物细胞总量的 21.9% 和 79.0%,而夜光藻是没有叶绿体的,这显然影响着两者之关系;冬季的水温较低,这是冬季浮游植物细胞丰度最低的原因之一,但春、夏、秋三季的水温相差不明显,在这三季里水温显然不是

影响浮游植物细胞丰度的主要原因;海湾盐度的变化与大陆径流密切相关,而大陆径流的输入必然带来丰富的营养,在盐度的变化值并没有达到伤害浮游植物的程度(盐度变化范围在 27.5—32.4)时,浮游植物细胞丰度随着盐度的下降而上升;浮游植物细胞丰度与无机氮和活性磷酸盐相关性不明显,是因为该海域存在着大面积的海草床和各种大型海藻,大型海藻吸收大量营养盐(冬春季内湾海草床海域 DIN 含量较低),与浮游植物严重竞争所致,活性硅酸盐是硅藻生长繁殖必需的营养物质,该海区浮游植物与活性硅酸盐呈极显著的正相关,显然大型海藻对硅酸盐的影响不明显,有关大型海藻对营养盐的吸收和利用状况有待进一步研究。

3.3 流沙湾海草床海域浮游植物群落结构和环境因子与其他海湾的比较

以调查时间、种类数、细胞丰度、多样性指数、均匀度、水温、盐度、无机氮、活性磷酸盐和活性硅酸盐进行综合性分析,流沙湾海域的年均水温与其他海湾的水温相差不大,年均盐度除了比 Iskenderun Bay 和粤西海域的低之外,比其他海湾的盐度均高,流沙湾海域没有大的河流注入,受大陆径流量影响较小,营养盐含量的年均值比粤西海域的高,与考洲洋的较接近,比其他海湾的都低,其无机氮含量比邻近海域徐闻珊瑚礁区的都为低;浮游植物的种类数除了比大亚湾和深圳湾的稍多之外,比其他海域的都低,丰度比富营养化海湾 Sinop Bay、深圳湾、柘林湾和三亚湾的低得多,也比邻近海域的珊瑚礁区的为低,说明流沙湾为贫营养型海湾,多样性指数除了比 Sinop Bay、徐闻珊瑚礁区和粤西海域的低之外,比 Iskenderun Bay、深圳湾、柘林湾和大亚湾的都为高(表 6),因此流沙湾群落结构比富营养化海湾的稳定,但与珊瑚礁区和粤西沿海相比,其群落结构较单一和脆弱。

表 6 2008 年流沙湾浮游植物群落结构和环境因子与其他海湾的比较

Table 6 Comparison of community structure of Phytoplankton and environmental factors between Liusha Bay and other bays

海域 Sea area	调查时间 Investigated time	种类数 Species amount	丰度 Abundance /($\times 10^4$ 个/L)	多样性指数 Diversity index	均匀度 Evenness index	水温 Water temperature/ $^{\circ}\text{C}$
柘林湾 Zhelin bay	2000—2001	153	35.95	1.91	0.47	23.00
大亚湾 Daya bay	2003—2004	118	56.8	2.0	0.44	—
考洲洋 Kaozhouyang Bay	1999	188	13.44	2.51	0.79	24.95
粤西海域 Western Guangdong waters	1998—1999	267	—	3.20	0.65	25.30
深圳湾 Shenzhen bay	2008	150	139.56	0.69	0.12	24.99
徐闻珊瑚礁区 Xuwen coral reef area	2006	262	8.92	4.02	0.59	—
Iskenderun Bay	1994—1995	170	<9.0	0.10—2.96	0.04—0.84	15.8—28.9
Sinop Bay	1995—1996	179	710	0.69—3.49	0.25—0.85	6.0—25.0
流沙湾 Liusha bay	2008	151	1.96	2.12	0.35	23.54

海域 Sea area	调查时间 Investigated time	盐度 Salinity	无机氮 DIN /(mg/L)	磷酸盐 PO_4^{3-} /(mg/L)	硅酸盐 SiO_3^{2-} /(mg/L)	文献来源 Literature source
柘林湾 Zhelin bay	2000—2001	26.70	0.317	0.060	1.677	[22]
大亚湾 Daya bay	2003—2004	—	—	—	—	[23]
考洲洋 Kaozhouyang Bay	1999	17.84	0.075	0.015	1.109	[24]
粤西海域 Western Guangdong waters	1998—1999	33.26	0.042	0.006	0.080	[25]
深圳湾 Shenzhen bay	2008	19.54	1.261	0.146	2.473	[26]
徐闻珊瑚礁区 Xuwen coral reef area	2006	—	0.179	0.011	0.580	[11]
Iskenderun Bay	1994—1995		37.9—39.0	N/P; 1.42—8.09	—	[27]
Sinop Bay	1995—1996	16.4—18.0	0.075—0.418	20.5—66.9	—	[28]
流沙湾 Liusha bay	2008	30.46	0.075	0.010	1.047	本调查

References:

- [1] Xie E Y, Shen Y C, YE N, Wu Z H. Benthic Marine Macroalgae Survey in Liusha bay. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2009, 29(4): 30-35.
- [2] Huang X P, Huang L M. Study for Seaweed in the South China Sea. Guangzhou: Economy Press of Guangdong, 2007: 1-92.
- [3] State Standard of the People's Republic of China. The Specification for Marine Monitoring Part 4: Seawater Analysis. Beijing: Standards Press of China, 2007: 57-121.
- [4] State Standard of the People's Republic of China. The Specification for Marine Monitoring Part 7: Ecological survey for offshore pollution and biological monitoring, Beijing: Standards Press of China, 2007: 84-85.
- [5] Sun J, Liu D Y, Xu J, Chen K B. The netz-phytoplankton community of the Central Bohai Sea and its adjacent waters in spring 1999. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 2003-2016.
- [6] Jaccard P. Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bulletin Societe Vaudense Des Sciences Naturelles*, 1908, 44: 223-270.
- [7] Guo Y J, Qian S B. Flora Algarum Marinarum Sinicarum, Bacillariophyta, Centricae. Beijing: Science Press, 2003: 11-447.
- [8] Jin D X, Chen J H, Huang K G. The Marine Planktonic Bacillariophyta in the China Sea. Shanghai: Science Technology Press, 1965: 1-228.
- [9] Cheng Z D, Gao Y H, Liu S C. Micro-Bacillariophyta in the Fujian Coastal Area. Beijing: Marine Press, 1993: 1-91.
- [10] Jin D X, Cheng Z D, Lin J M, Liu S C. The Marine Benthonic Bacillariophyta in the China Sea. Beijing: Marine Press, 1982: 1-323.
- [11] Zhang C X, Sun X L, Xie W L, Xie S Y, Zhan D L, Zhang Y B, Zhang J B, Chen C L. Seasonal changes of the phytoplankton in Xuwen Coral Reef Area. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009, 40(3): 159-165.
- [12] Lai T H, Qiu S F. Annual Dynamic of the Phytoplankton in the Alongshore Seawaters of Beihai. *Marine Science Bulletin*, 2005, 24(5): 27-32.
- [13] Wang F, Dong S L, Zhang S, Wang R C. Experimental studies on feeding selectivity and the filter-feeding rate of *Argopecten irradians* and *crassestrea gigas*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, 31(2): 139-144.
- [14] Wang J Q, Yu X M, Hao Y B, Zhang P L, Yang T, Liu H J. Determination of Clearance Rate in Four Filtering Mussel Species. *Fisheries Science*, 2006, 25(5): 217-221.
- [15] Rosenber G G, Probyn T A, Mann K H. Nutrient uptake and growth kinetics in brown seaweeds: response to continuous and single additions of ammonium. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1984, 80:125-146.
- [16] Fujita R M. The role of N status in regulating transient ammonium uptake and N storage by macroalgae. *Journal of Experimental Marine Ecology*, 1985, 92: 283-301.
- [17] Zhang S D, Yu Z M, Song X X, Xong F, Wang Y. Competition about nutrients between *Gracilaria lemaneiformis* and *Prorocentrum donghaiense*. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2676-2680.
- [18] Liu Z W, Dong S L. Nature of NH_4^+ uptake kinetics of *Gracilaria tenuistipitata* var. *liui* and *Ulva pertusa*. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 26(2): 95-102.
- [19] Fong P, Donohoe R M, Zedler J B. Competition with macroalgae and benthic cyanobacterial limits phytoplankton abundance in experimental microcosms. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, 100: 97-102.
- [20] Rissgard H U. Efficiency of particle retention and filtration rate in 6 species of Northeast American bivalves. *Marine Ecology Progress Series*, 1988, 45: 217-233.
- [21] Redfield A C. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist*, 1958, 46: 205-222.
- [22] Zhou K, Huang C J, Jiang S, Huang W K, Dong Q X. Annual dynamics of phytoplankton in Zhelin bay: 2000—2001. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(5): 688-698.
- [23] Zhang Y Y, Lu S H, Qi Y Z. Changes on community structure and population of phytoplankton in aquacultural area of Daya bay 2003—2004. *Marine Environmental Science*, 2008, 27(2): 131-134.
- [24] Li C H, Lin Q, Cai W G, Jia X P, Gan Z L, Wang Z H, Dai M. Characteristics of species composition and quantity distribution of phytoplankton in Kaozhouyang Bay. *Journal of Fisheries of China*, 2005, 29(3): 379-385.
- [25] Cai W G, Li C H, Jia X P, Gao D Y. Dynamic variation and the biodiversity for the species of phytoplankton in West Guangdong Waters. *Marine Environmental Science*, 2003, 22(4): 34-37.
- [26] Zhang C X, Zhou K, Sun X L, Xiao Y B, Chen C L, Zhang J B, Zhang Y B. Seasonal changes of the phytoplankton in Shenzhen Bay. *Ecology and environmental sciences*, 2010, 19(10): 2445-2451.
- [27] Sevim P, Ercan S, Tufan K. Seasonal Changes in the Phytoplankton of the Northeastern Mediterranean (Bay of Iskenderun). *Turkis Journal of Botany*, 2000, 24: 1-12.

- [28] Muhammet T, Tufan K. Phytoplankton Species' Succession and Nutrients in the Southern Black Sea (Bay of Sinop). *Turkis Journal of Botany*, 2002, 26: 235-252.

参考文献:

- [1] 谢恩义, 申玉春, 叶宁, 吴灶和. 流沙湾的底栖大型海藻调查. *广东海洋大学学报*, 2009, 29(4): 30-35.
- [2] 黄小平, 黄良民. 中国南海海草研究. 广州: 广东经济出版社, 2007: 1-92.
- [3] 中华人民共和国国家标准. 海洋监测规范. 第4部分: 海水分析. 北京: 中国标准出版社, 2007: 57-121.
- [4] 中华人民共和国国家标准. 海洋监测规范. 第7部分: 近海污染生态调查和生物监测. 北京: 中国标准出版社, 2007: 84-85.
- [5] 孙军, 刘东艳, 徐俊, 陈凯彪. 1999年春季渤海中部及其邻近海域的网采浮游植物群落. *生态学报*, 2004, 24(9): 2003-2016.
- [7] 郭玉洁, 钱树本. 中国海藻志-硅藻门中心硅藻纲. 北京: 科学出版社, 2003: 11-447.
- [8] 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: 1-228.
- [9] 程兆第, 高亚辉, 刘师成. 福建沿岸微型硅藻. 北京: 海洋出版社, 1993: 1-91.
- [10] 金德祥, 程兆第, 林均民, 刘师成. 中国海洋底栖硅藻类(上). 北京: 海洋出版社出版, 1982: 1-323.
- [11] 张才学, 孙省利, 谢伟良, 谢少英, 詹冬玲, 张瑜斌, 张际标, 陈春亮. 徐闻珊瑚礁区浮游植物的季节变化. *海洋与湖沼*, 2009, 40(2): 159-165.
- [12] 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. *海洋通报*, 2005, 24(5): 27-32.
- [13] 王芳, 董双林, 张硕, 王如才. 海湾扇贝和太平洋牡蛎的食物选择性及滤除率的试验. *海洋与湖沼*, 2000, 31(2): 139-144.
- [14] 王吉桥, 于晓明, 郝玉冰, 张蒲龙, 杨涛, 刘海金. 4种滤食性贝类滤水率的测定. *水产科学*, 2006, 25(5): 217-221.
- [17] 张善东, 俞志明, 宋秀贤, 宋飞, 王悠. 大型海藻龙须菜与东海原甲藻间的营养竞争. *生态学报*, 2005, 25(10): 2676-2680.
- [18] 刘靖雯, 董双林. 氮饥饿细基江蓠繁枝变型和孔石莼氨氮的吸收动力学特征. *海洋学报*, 2004, 26(2): 95-102.
- [22] 周凯, 黄长江, 姜胜, 黄文魁, 董巧香. 2000—2001年柘林湾浮游植物群落结构及数量变动的周年调查. *生态学报*, 2002, 22(5): 688-698.
- [23] 张玉宇, 吕颂辉, 齐雨藻. 2003—2004年大亚湾澳头养殖区水域浮游植物群落结构及数量变动特征. *海洋环境科学*, 2008, 27(2): 131-134.
- [24] 李纯厚, 林欣, 蔡文贵, 贾晓平, 甘居利, 王增焕, 戴明. 考洲洋浮游植物种类组成与数量分布特征. *水产学报*, 2005, 29(3): 379-385.
- [25] 蔡文贵, 李纯厚, 贾晓平, 高东阳. 粤西海域浮游植物种类的动态变化及多样性. *海洋环境科学*, 2003, 22(4): 34-37.
- [26] 张才学, 周凯, 孙省利, 肖燕冰, 陈春亮, 张际标, 张瑜斌. 深圳湾浮游植物的季节变化. *生态环境学报*, 2010, 19(10): 2445-2451.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 5 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

- Statistical characteristics of eutrophication process in Dianshan Lake CHENG Xi, LI Xiaoping, CHEN Xiaohua (1355)
- Cadmium assimilation and elimination and biological response in *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) fed on Cadmium diets
..... ZHANG Zhengtian, ZHANG Guangduo, ZHANG Hucheng, et al (1363)
- Effect of co-cultivation time on camptothecin content in *Camptotheca acuminata* seedlings after inoculation with arbuscular
mycorrhizal fungi YU Yang, YU Tao, WANG Yang, et al (1370)
- Relationship between frequency of sandstorms and air humidity as well as plant phenology: a case study from the Minqin desert
area CHANG Zhaofeng, WANG Yaolin, HAN Fugui, et al (1378)
- Genetic diversity and evolution relationship on mtDNA D-loop in Tibetan yaks
..... ZHANG Chengfu, XU Lijuan, JI Qiumei, et al (1387)
- Geostatistical analysis on spatiotemporal distribution pattern of soil water content of forest gap in *Pinus koraiensis* dominated
broadleaved mixed forest LI Meng, DUAN Wenbiao, CHEN Lixin, et al (1396)
- Soil nitrogen and enzymes involved in nitrogen metabolism under different vegetation in Ziwuling mountain in the Loess Plateau,
China XING Xiaoyi, HUANG Yimei, HUANG Haibo, et al (1403)
- Soil carbon, nitrogen and microbiological characteristics during bamboo high-speed growth
..... WANG Xueqin, ZHANG Qichun, YAO Huaiying (1412)
- Effects of long-term increased soil N on leaf traits of several species in typical Inner Mongolian grassland
..... HUANG Juying, YU Hailong, YUAN Zhiyou, et al (1419)
- Influence of arbuscular mycorrhizal associations on the interspecific competition between mycorrhizal and non-mycorrhizal plants
..... ZHANG Yuting, WANG Wenhua, SHEN Hong, et al (1428)
- Structure and biodiversity of fig wasp community inside syconia of *Ficus virens* Ait. var. *sublanceolata* (Miq.) Corner in Fuzhou ...
..... WU Wenshan, CHEN Youling, CAI Meiman, et al (1436)
- Growth and photosynthetic characteristics of *Epimedium koreanum* Nakai in different habitats
..... ZHANG Yonggang, HAN Mei, HAN Zhongming, et al (1442)
- The critical temperature to Huashan Pine (*Pinus armandi*) radial growth based on the daily mean temperature
..... FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (1450)
- The analysis of grade diversity indices of butterfly community in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River
..... MA Qi, LI Aimin, DENG Heli (1458)
- Research on dynamic characteristics of photosynthesis in muskmelon seedling leaves
..... HAN Ruifeng, LI Jianming, HU Xiaohui, et al (1471)
- Effects of different winter covering crops cultivation on methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emission fluxes from double-
cropping paddy field TANG Haiming, XIAO Xiaoping, SHUAI Xiqiang, et al (1481)
- Variations in groundwater levels and quality and their effects on vegetation in the western Grubantonggut Desert
..... ZENG Xiaoling, LIU Tong, ZHANG Weibin, et al (1490)
- Carbon and nitrogen stable isotope characteristics of particulate organic matter and zooplankton in Liuxihe Reservoir
..... NING Jiajia, LIU Hui, GU Binhe, et al (1502)
- Selection of vegetable seeds native in China instead of the cress seed for evaluating the maturity of biosolids
..... LIU Songsong, XU Tianfen, WU Qitang, et al (1510)
- Effects of anthropogenic nutrient input on organisms from different trophic levels in Hanfeng Lake: evidence from stable carbon
and nitrogen isotope analysis LI Bin, WANG Zhijian, JIN Li, et al (1519)
- Temporal and spatial distribution of phytoplankton in Liusha Bay ZHANG Caixue, CHEN Huiyan, SUN Xingli, et al (1527)
- Study on the supercooling of golden apple snail (*Pomacea canaliculata*)
..... ZHAO Benliang, ZHANG Jia'en, LUO Mingzhu, et al (1538)
- The effects of rice growth stages on the ovarian development and take-off of *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*
..... CHEN Yu, FU Qiang, LAI Fengxiang, et al (1546)
- Cold tolerance of the overwintering egg of *Apolygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae)
..... ZHUO Degan, LI Zhaohui, MEN Xingyuan, et al (1553)
- A suggestion on the estimation method of population sizes of *Niviventer confucianus* in Land-bridge island
..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (1562)
- The carbon footprint of food consumption in Beijing WU Yan, WANG Xiaoke, LU Fei (1570)
- Anthropogenic phosphorus flow analysis of Hanshan County in Anhui Province
..... FU Yinyin, YUAN Zengwei, WU Huijun, et al (1578)
- A laboratory study of auctions for water rights transactions in inland river basin: a case study of irrigation areas of Heihe river
basin DENG Xiaohong, XU Zhongmin (1587)
- Review and Monograph**
- A review of the effect of typhoon on forests LIU Bin, PAN Lan, XUE Li (1596)
- Research progress on the effects of ocean acidification on coral reef ecosystems
..... ZHANG Chenglong, HUANG Hui, HUANG Liangmin, et al (1606)
- Interspecific competition among three invasive *Liriomyza* species
..... XIANG Juncheng, LEI Zhongren, WANG Haihong, et al (1616)
- Indicative significance of biogenic elements to eco-environmental changes in waters
..... YU Yu, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (1623)
- Recent advances in studies on dissimilatory Fe(III)-reducing microorganisms
..... LI Huijuan, PENG Jingjing (1633)
- Discussion**
- Ecological vulnerability research for Xilingol League, Northern China XU Guangcai, KANG Muye, Marc Metzger, et al (1643)
- Scientific Note**
- Spatial distribution and species composition of zooplanktons in the eastern tropical Pacific Ocean off Costa Rica
..... LIU Bilin, CHEN Xinjun, JIA Tao, et al (1654)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 5 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 5 2012

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:1000717	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:1000717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.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