

粤东柘林湾角毛藻 (*Chaetoceros*) 群落 生态学特性的季节变化

王 超², 黄长江^{1,2,*}, 杜 虹²

(1. 温州医学院环境与公共卫生学院, 温州 325035; 2. 广东汕头大学海洋生物重点实验室, 汕头 515063)

摘要:于 2004 年 5 月至 2005 年 2 月对粤东大规模养殖区柘林湾的角毛藻 (*Chaetoceros*) 群落的时空分布进行了季节性调查。调查期间, 共发现角毛藻 54 种 (含变种、变型), 包括 3 个未知角毛藻种, 其中柔弱角毛藻 (*C. debilis*), 双孢角毛藻 (*C. didymus* var. *didymus*), 劳氏角毛藻 (*C. lorenzianus*), 小角毛藻 (*C. minutissimus*) 和聚生角毛藻 (*Chaetoceros socialis*) 均为柘林湾全年出现种。柘林湾角毛藻种类丰富度和细胞丰度的季节变化均呈现高温季节高低温季节低的特点, 而平面分布均表现出由湾内向湾外递增的趋势。整体而言, 是一个角毛藻种类数很高而细胞丰度较低的海湾。分析表明, 水温是影响角毛藻种类丰富度和细胞丰度季节变化的关键因素, 而光照、种间竞争和浮游动物群落结构的组成是影响其时空分布的主要因素。

关键词:柘林湾; 角毛藻; 种群动力学

文章编号: 1000-0933(2008)1-0237-09 中图分类号: Q145, Q178.532 文献标识码: A

Seasonal variation of *Chaetoceros* community in Zhelin Bay of eastern Guangdong

WANG Chao², HUANG Chang-Jiang^{1,2,*}, DU Hong²

1 School of Environmental Science and Public Health, Wenzhou Medical College, Wenzhou 325035, China

2 Laboratory of Marine Biology, Shantou University, Shantou, Guangdong 515063, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 0237 ~ 0245.

Abstract: Seasonal ecological study on *Chaetoceros* community in Zhelin Bay, South China Sea, where have been frequently hit by harmful algae blooms, was performed during 2004-05—2005-02. A total of 72 phytoplankton samples were collected in the present study, and among which *Chaetoceros* was found to be present in 68 samples, with total 54 *Chaetoceros* species; main species include: *C. affinis*, *C. brevis*, *C. castracanei*, *C. crinitus*, *C. curvisetus*, *C. danicus*, *C. debilis*, *C. diadema*, *C. didymus*, *C. distans*, *C. laciniosus*, *C. laevis*, *C. lorenzianus*, *C. minutissimus*, *C. muelleri*, *C. neocompactum*, *C. peruvianus*, *C. pseudocrinitus*, *C. pseudocurvisetus*, *C. siamense*, *C. socialis*, *C. tortissimus*, among which *C. debilis*, *C. didymus*, *C. lorenzianus*, *C. minutissimus*, *C. socialis* were the species appeared in Zhelin Bay all year round. The community density ranged from 0 to 23.39×10^4 cells/L and an overall average of 3.55×10^4 cells/L, contributing 29.0% to total phytoplankton density.

基金项目:广东省自然科学基金资助项目(021260); 广东省重大科技兴海资助项目(A200005F02)

收稿日期:2006-08-19; **修订日期:**2007-07-02

作者简介:王超(1980~), 男, 山东淄博人, 硕士, 主要从事海洋浮游植物生态学研究。现在中国水产科学研究院珠江水产研究所工作。E-mail: maritonling@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cjhuang5711@163.com

Foundation item: The project was financially supported by the Natural Science Foundation of Guangdong Province (No. 021260); Project of Great Technology Sea Flourish of Guangdong Province (No. A200005F02)

Received date: 2006-08-19; **Accepted date:** 2007-07-02

Biography: WANG Chao, Master, mainly engaged in marine phytoplankton taxonomy and ecology. E-mail: maritonling@163.com

Spatially, *Chaetoceros* species richness ranged from 0 to 36, and the total density ranged from $0.71 - 10.24 \times 10^4$ cells/L, both were characterized by a typical progressively increasing pattern with the lowest located inner and highest located outer of the bay. Temporally, *Chaetoceros* species richness ranged from 7 to 46, and the total density ranged from $0.04 - 7.86 \times 10^4$ cells/L, both were characterized by a typical annual pattern with the lowest in cold seasons and highest in warm seasons.

In total, Zhelin Bay had high *Chaetoceros* species richness and relatively low density. Our analysis indicated that water temperature was the key factor affected the seasonal variation of species richness and density of *Chaetoceros*, and light, interspecific competition and structure of zooplankton community were important factors affected the spatial and temporal distribution of *Chaetoceros*.

Key Words: Zhelin Bay; *Chaetoceros*; population dynamics

角毛藻(*Chaetoceros*)隶属于硅藻门(Bacillariophyta),中心纲(Centricae),盒形硅藻目(Biddulphiales),角毛藻科(Chaetoceroaceae),角毛藻属(*Chaetoceros*)^[1]。本属种类很多,分布很广,是最常见、最重要的浮游硅藻之一,也是我国近海重要硅藻之一。尽管角毛藻属于无毒赤潮藻,但是有些角毛藻的角毛上具有倒刺,能刺伤鱼鳃,对养殖鱼类造成伤害;大部分角毛藻作为养殖饵料具有独特的优势,是海洋动物的良好食物。

粤东饶平县柘林湾位于闽、粤两省交界处(图1),湾口朝南,与南海之间有南澳岛(106 km^2)横卧其间。因其良好的避风条件,水产增养殖业于20世纪80代后期开始迅猛发展,目前已成为广东养殖规模最大的海湾之一^[2,3]。由于海水增养殖业的过度发展和周边人口与经济的急速膨胀,加上污水处理能力的长期滞后,该湾生态系统的结构与功能于20世纪末急速恶化,不仅养殖业的难度显著加大,而且于20世纪末和本世纪初连续发生了各种赤潮,对渔业生产和生态环境均造成了负面影响^[2,4,5]。本文研究了2004~2005年度柘林湾角毛藻属种类组成及细胞丰度的季节变化,并分析了角毛藻细胞丰度与环境因子的关系,为了解柘林湾该属的分布状况和探讨该属在柘林湾发生赤潮的可能性提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 采样站位的布设

在柘林湾内外共设立9个站位,基本形成了从湾顶黄冈河口至湾口外的纵向布局。其中,S1位于黄冈河口,S2位于湾顶西北部的三百门港,S3位于湾东部牡蛎养殖区($\sim 15 \text{ km}^2$)的边缘,S4位于大型牡蛎养殖区中心。S5、S6、S7分别位于3个湾口处,但S6位于渔排养殖区的中心,S5和S7位于渔排养殖区的边缘。S8、S9位于湾口外的非养殖区。采样时的站位定位和牡蛎养殖区的面积计算均采用 Garmin 公司生产的 GPS12 型全球卫星定位系统。

1.2 采样与分析

调查期间为2004年5月至2005年2月。调查频率为每季度(春季5月份;夏季8月份;秋季11月份;冬

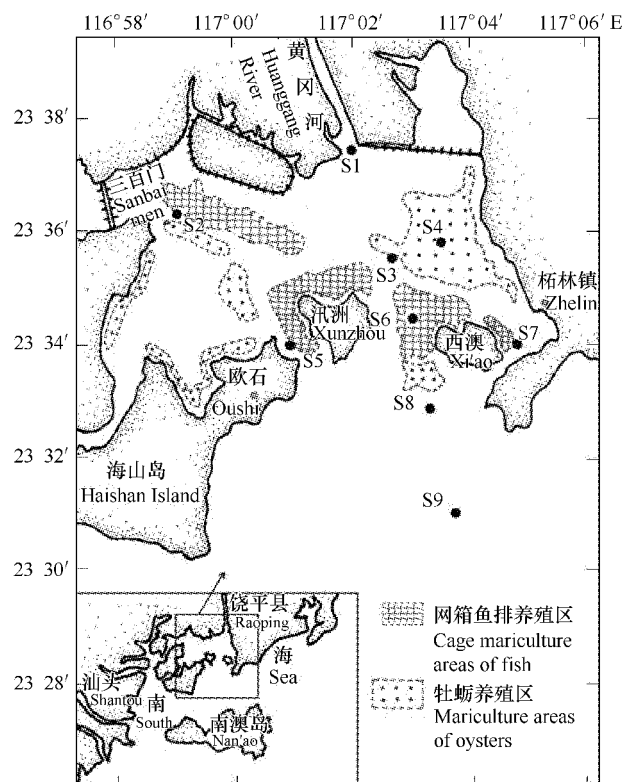


图1 柘林湾调查站位的分布

Fig. 1 The map of sampling stations in Zhelin Bay

季2月份)1次,调查站位为9个。每次调查均在高潮前后1.5 h内完成。

样品分网采(定性)与瓶采(定量)。网采用具采用《海洋调查规范》^[6]中的浅水Ⅲ型浮游生物采集网(网口直径为37cm、面积为0.1m²,网目孔径为77μm),自海底(离底部0.5m)向海面垂直拖网1~2次。瓶采用具采用HQM-1型有机玻璃采水器,取表层(离水面0.5m)和底层(离水底0.5m)水样各1L装入聚乙烯瓶中。水样采集后,立即用鲁格氏液固定,使其最终浓度为15‰。水样运回实验室后,立即移入玻璃量筒内,加盖静置24h后,用管口包裹筛绢(网目孔径为77μm)的虹吸管或吸管小心吸去上清液。如此反复多次,直至将水样浓缩至30~100ml。分析时取均匀瓶采样品1ml注入Sedgewick-Rafte浮游植物计数框中,在德国Zeiss倒置显微镜(Axiovert25)下进行浮游植物的种类鉴定和计数。角毛藻的计数结果仅为柘林湾浮游植物计数结果的一部分。网采样品现场用中性福尔马林固定(最终浓度为4%),只用于种类鉴定。

水温、盐度、浊度、溶解氧和水深用便携式水质分析仪(YSI6600-02, USA)进行现场测定。另取250ml水样,现场过滤后置于带冰块的冷藏箱中运回实验室,用水质流动注射分析仪(SKALAR, 荷兰)进行营养盐的分析,并用UV-2501PC紫外/可见分光光度计(日本岛津)进行铁和叶绿素的测定。

1.3 数据处理

各调查站位和月份的角毛藻种类数为各站位和月份的种类数之和。由于柘林湾水深较浅(3~12 m),垂直混合相对充分,本文采用的其它数值均为表、底层平均值。

2 结果

2.1 角毛藻的种类组成

调查期间,共采集浮游植物样品72份,其中68份样品有角毛藻记录,占总样品数的94.4%。柘林湾角毛藻种类丰富,在所采集样品中共发现角毛藻54种(含变种、变型),包括3个未知角毛藻种,主要物种有窄隙角毛藻(*Chaetoceros affinis*)、短孢角毛藻(*C. brevis*)、卡氏角毛藻(*C. castracanei*)、发状角毛藻(*C. crinitus*)、旋链角毛藻(*C. curvisetus*)、丹麦角毛藻(*C. danicus*)、柔弱角毛藻(*C. debilis*)、皇冠角毛藻(*C. diadema*)、双突角毛藻(*C. didymus*)、远距角毛藻(*C. distans*)、垂缘角毛藻(*C. laciniosus*)、平滑角毛藻(*C. laevis*)、劳氏角毛藻(*C. lorenzianus*)、小角毛藻(*C. minutissimus*)、牟氏角毛藻(*C. muelleri*)、新紧密角毛藻(*C. neocompactum*)、秘鲁角毛藻(*C. peruvianus*)、拟发状角毛藻(*C. pseudocrinitus*)、拟旋链角毛藻(*C. pseudocurvisetus*)、暹罗角毛藻(*C. siamense*)、聚生角毛藻(*C. socialis*)、扭链角毛藻(*C. tortissimus*)等。其中,柔弱角毛藻、双孢角毛藻、劳氏角毛藻、小角毛藻、聚生角毛藻为全年出现种。

2.2 角毛藻种类丰富度的时空分布

4个航次角毛藻种类丰富度的站位实值的变化范围为0~36种,总种数为54种。角毛藻总种类丰富度的最高值出现在盛夏8月份,变化范围为2~36种,总种数为46种(图2)。其次,依次为春季5月份的42种(9~29种)和秋季11月份的23种(1~12种),最低为冬季2月份的7种(0~4种)。其中,最低值与最高值相差达6.6倍。

在空间分布上,整个调查期间角毛藻种类丰富度的最大值出现在湾外的S9站位,为41种,其次是湾外的S8,为37种,最低值和次低值分别出现在湾内三百门的S2(15种)和黄冈河口的S1(18种)(图2)。除冬季2月角毛藻种类丰富度的最大值出现在湾外的S8,最小值出现在湾口网箱养殖区的S7,其它季节角毛藻种类丰富度的最大值均出现在湾外的S9,最小值出现在湾内的S1或S2。总体而言,柘林湾角毛藻种类丰富度呈现由湾内向湾外递增的趋势。

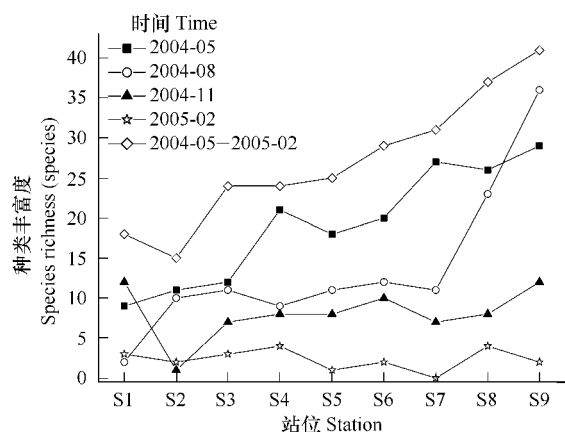


图2 调查期间各站位角毛藻的种类丰富度

Fig. 2 Distribution of *Chaetoceros* species richness at each station

2.3 角毛藻细胞丰度的时空分布

调查期间角毛藻细胞丰度的站位实值的变化范围为 $0 \sim 23.39 \times 10^4 \text{ cells/L}$, 均值为 $3.55 \times 10^4 \text{ cells/L}$ 。角毛藻细胞丰度月均值的最高值出现在春季 5 月份, 变化范围为 $1.17 \sim 23.39 \times 10^4 \text{ cells/L}$, 月均值为 $7.86 \times 10^4 \text{ cells/L}$ (图 3)。其次, 依次为夏季 8 月份的 $6.0 \times 10^4 \text{ cells/L}$ ($1.08 \sim 16.91 \times 10^4 \text{ cells/L}$) 和秋季 11 月份的 $0.29 \times 10^4 \text{ cells/L}$ ($0.03 \sim 0.64 \times 10^4 \text{ cells/L}$), 最低为冬季 2 月份的 $0.04 \times 10^4 \text{ cells/L}$ ($0 \sim 0.09 \times 10^4 \text{ cells/L}$)。其中, 最大值和最小值相差 196.5 倍。

在空间分布上, 整个调查期间角毛藻细胞丰度的最大值出现在湾外的 S9 站位, 平均为 $10.24 \times 10^4 \text{ cells/L}$, 其次是湾外的 S8, 平均为 $7.61 \times 10^4 \text{ cells/L}$, 最低值和次低值分别出现在湾内牡蛎养殖区边缘的 S3 ($0.71 \times 10^4 \text{ cells/L}$) 和黄冈河口的 S1 ($1.21 \times 10^4 \text{ cells/L}$) (图 3)。除冬季 2 月角毛藻细胞丰度的最大值出现在湾外的 S8, 最小值出现在湾口网箱养殖区的 S7, 其它季节角毛藻细胞丰度的最大值均出现在湾外的 S9, 最小值出现在湾顶的某个站位。总体而言, 柘林湾角毛藻细胞丰度呈现由湾内向湾外递增的趋势。

2.4 角毛藻细胞丰度与环境因子的相关分析

将角毛藻细胞丰度的对数值分别与水温、盐度、营养盐及浮游动物进行回归分析, 结果表明, 角毛藻细胞丰度与水温存在极显著正相关关系, 而与盐度不存在统计学意义上的相关性 (图 4); 角毛藻细胞丰度与溶解无机氮 (DIN) 和溶解无机磷 (DIP) 均存在极显著负相关关系, 而与硅酸盐 ($\text{SiO}_4\text{-Si}$) 不存在统计学意义上的相关性 (图 5); 角毛藻细胞丰度与浮游动物存在显著正相关关系 (图 6)。

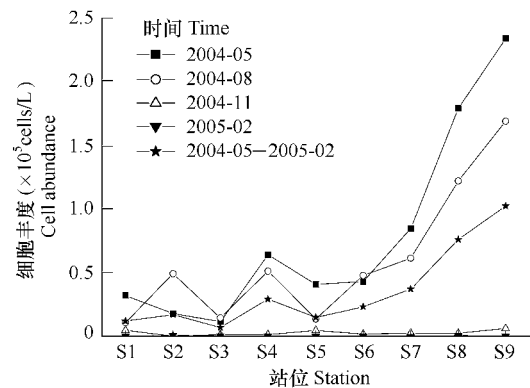


图 3 调查期间各站位的角毛藻细胞密度

Fig. 3 Distribution of *Chaetoceros* cells abundance at each station

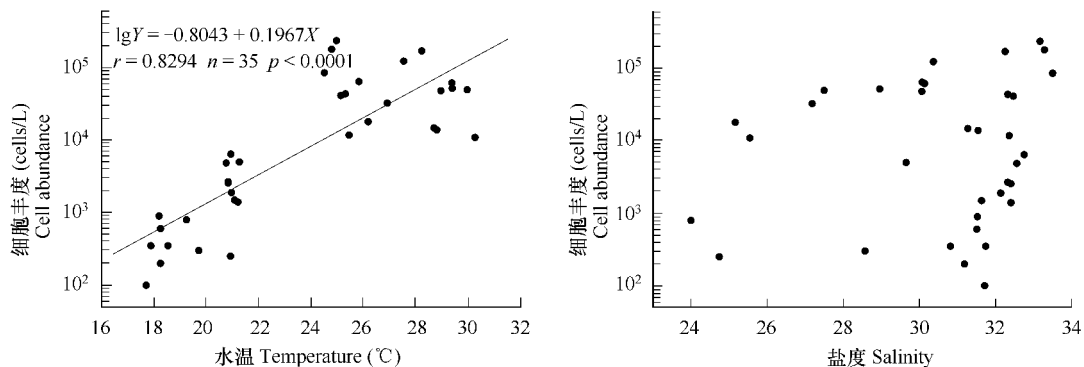


图 4 角毛藻细胞密度与水温、盐度的关系

Fig. 4 The relationship between *Chaetoceros* cells abundance and water temperature, salinity

3 讨论

调查期间柘林湾角毛藻群落的平均密度为 $3.55 \times 10^4 \text{ cells/L}$, 占浮游植物总细胞数的 29.0%。从作者所掌握的资料来看, 20 世纪 90 年代初以来, 国内外报道的有关角毛藻的生态调查有 20 次 (部分详细数据请见表 1)。在这些调查中, 记录有角毛藻群落总种类数的有 15 次变化, 范围为 13 ~ 35 种, 最大值与柘林湾角毛藻总种类数相差达 1.54 倍; 记录有角毛藻群落密度平均值的仅有 5 次, 均值为 $26.87 \times 10^4 \text{ cells/L}$, 是柘林湾角毛藻群落密度的 7.6 倍。因此, 柘林湾是一个角毛藻种类数很高而群落密度较低的海湾。分析其原因有: (1) 角毛藻喜好高温^[27], 柘林湾位于亚热带海区, 全年水温平均值为 23.45°C , 有利于角毛藻的生存; (2) 柘林

表 1 柘林湾角毛藻群落组成与国内外其它海域的比较

Table 1 Comparison of *Chaetoceros* between Zhelin Bay and other water

海域 Region	时间 Sampling date	种 Taxa	种类数 Species	群落密度 ($\times 10^4$ cells/dm ³) Population density	参考文献 Reference
泉州湾(中国) Quanzhou Bay (China)	1984-05,08,11, 1985-02 1988-09, 1989-01	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	20		[7]
镇海湾(中国) Zhenhai Bay (China)	1987-08	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	13		[8]
湛江港(中国) Zhanjiang Harbour (China)	1987-08	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	20		[9]
广海湾(中国) Guanghai Bay (China)	1988-07	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	15	5.56	[10]
大西洋东赤道海域 The eastern equatorial Atlantic	1989-03 — 1990-03	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	24		[11]
厦门东侧海域(中国) Eastern Xiamen waters (China)	1990-02 — 1990-11 1990-05	角毛藻 <i>Chaetoceros</i> 角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	21	2.74 10.79	[12]
大鹏湾(中国) Dapeng Bay (China)	1990 — 1992	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	27		[13]
马銮湾(中国) Maluan Bay (China)	1992-08, 1993-08	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>		57.36	[14]
Urdaibai 湾(西班牙) The Urdaibai Bay (Spain)	1997-02 — 1998-01	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	15		[15]
深圳沿海(中国) The coasts of Shenzhen (China)	1998-11	角毛藻 <i>Chaetoceros</i> 柔弱角毛藻 <i>Chaetoceros debilis</i>	19	17.0	[16]
中西太平洋赤道区域 The Western and Central equatorial Pacific	1998-12 — 1999-01	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	15		[17]
考洲洋(中国) Kaozhouyang Bay (China)	1999-02 — 08	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	16		[18]
渤海中部及邻近水域(中国) The Central Bohai Sea and its adjacent waters	1999-04 — 05	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	15		[19]
阿留申群岛 Aleutian Islands	1999-07 — 08	柔弱角毛藻 <i>C. debilis</i>		18.0	[20]
The Ria de Ferrol	2000-02 — 09	丹麦角毛藻 <i>C. danicus</i> 双突角毛藻 <i>C. didymus</i> 聚生角毛藻 <i>C. socialis</i>		0.14 5.08 329.7	[21]
Vostok 湾(日本) Vostok Bay (Japan)	2001-07 — 2002-05	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	24		[22]
福宁湾(中国) Funing Bay (China)	2002-03 — 2003-10	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	20		[23]
大亚湾大鹏澳水域(中国) Dapeng Ao Cove, Daya Bay (China)	2002-04 — 05	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>		57.9	[24]
胶州湾(中国) Jiaozhou Bay (China)	2003-01 — 12	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	31		[25]
北海近岸水域(中国) The alongshore seawaters of Beihai (China)	2003-06 — 2004-06	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	35		[26]
柘林湾(中国) Zhelin Bay (China)	2004-05 2004-08	角毛藻 <i>Chaetoceros</i> 角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	42 46	7.86 (1.17 ~ 23.39) 6.0 (1.08 ~ 16.91)	本文 The present paper

续表

海域 Region	时间 Sampling date	种 Taxa	种类数 Species	群落密度 ($\times 10^4$ cells/dm ³) Population density	参考文献 Reference
柘林湾(中国) Zhelin Bay (China)	2004. 11	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	23	0.29 (0.03 ~ 0.64)	
		角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	7	0.04 (0 ~ 0.09)	
	2005. 02	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>	54	3.55 (0 ~ 23.39)	
	2004. 05-2005. 02	角毛藻 <i>Chaetoceros</i>			

湾是一个大规模养殖区,受各类水面上和水面下增殖设施的影响,水下照度相对较低,而角毛藻对光照强度敏感性很高,光强度的衰减对其影响相对较大^[28~30],不利于角毛藻的大量繁殖;(3)角毛藻在柘林湾养殖区的群落密度较低,很可能是遇到一些更适合养殖区的浮游植物种类(如在柘林湾浮游植物群落中占28.0%的中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*))在空间、营养、溶氧等方面的竞争。已有研究表明,中肋骨条藻种群密度与养殖水域的面积呈正相关关系^[22]。柘林湾的海域面积仅有约70 km²,但牡蛎养殖面积超过20 km²,网箱渔排总数超过5万格,中肋骨条藻的大量繁殖势必造成种间竞争的加强。此外,调查期间菱形藻(*Nitzschia* spp.)在柘林湾浮游植物群落中也占有很大优势,所占百分比为16.6%,加大了种间竞争的强度。

大量的研究表明,春季是角毛藻的旺发阶段^[12,31,32],国内外对角毛藻赤潮的记录也绝大多数发生在春季^[16,33~35]。杨清良等^[12]的研究发现,厦门东侧海域春季角毛藻的群落密度高达 10.79×10^4 cells/L,占浮游植物总细胞数的96%。广东衙前海域春季发生角毛藻赤潮时群落密度高达 643×10^4 cells/L,占浮游植物总细胞数的99.2%^[27]。柘林湾春季角毛藻群落密度为 7.86×10^4 cells/L,占浮游植物总细胞数的41.96%,群落密度和百分比均偏低。柘林湾春季骨条藻在浮游植物总细胞数中所占百分比为27.1%,菱形藻占6.5%,种间竞争的存在有可能部分抵消适宜水温为角毛藻的群落增长所带来的益处。

柘林湾角毛藻群落密度的平面分布表现出湾外高于湾内的分布特征,与营养盐的平面分布模式恰好相反^[12],这从角毛藻群落密度分别与溶解无机氮、溶解无机磷呈极显著负相关关系的结果中也可得到有力的证明(图5)。这种角毛藻群落密度与营养盐在空间分布上相背离的主要原因在于湾内养殖区海水浑浊,透光度低,影响到角毛藻光合作用的效率,无法体现出营养盐丰富的优势,也是陆源排污与大规模水产养殖二次污染造成湾内生态环境严重恶化的重要表现^[37]。

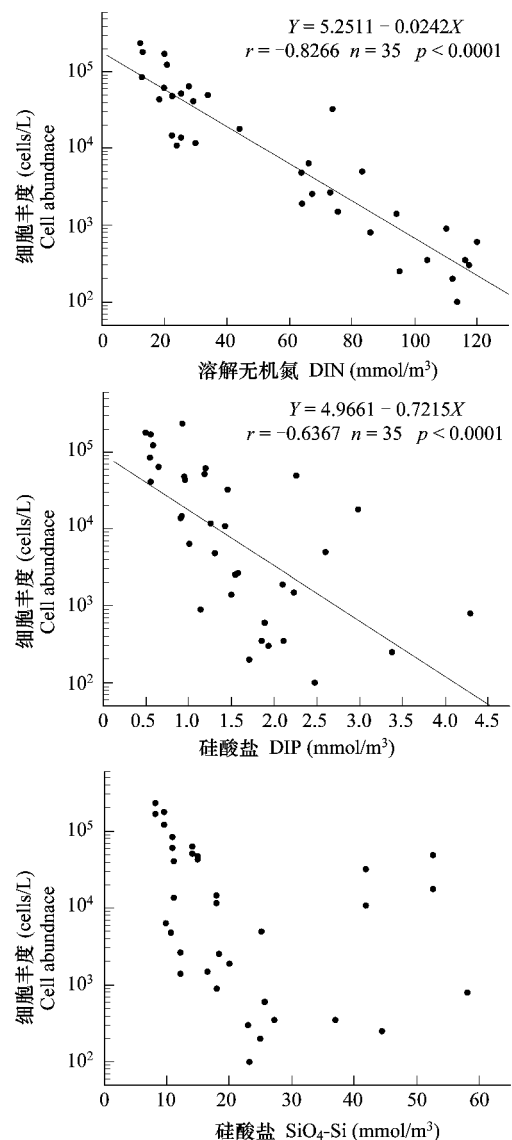


图5 角毛藻密度与营养盐的关系

Fig. 5 The relationship between *Chaetoceros* cells abundance and nutrients

角毛藻种类丰富度和群落密度的季节变化非常显著, 呈现高温季节高低温季节低的特征。这种季节变化模式主要与角毛藻生长喜好高温的特性有关^[27], 角毛藻群落密度与水温的正相关关系就是很好的证明(图4)。此外, 角毛藻属于微型(Nano-)和小型(Micro-)浮游植物, 而柘林湾 93.9% 的桡足类和枝角类个体由体长小于 0.8 mm 的小型种类构成^[38], 在浮游植物高峰期的春夏季节, 这类小型浮游动物对超微型浮游植物(Pico-phytoplankton)和微型浮游植物(Nano-phytoplankton)(例如中肋骨条藻)的摄食压力应该大于对小型浮游植物(例如角毛藻)的摄食压力^[39,40], 因为有证据表明此类小型浮游动物对细胞直径小于 8 μm 的小型浮游植物的摄食压力是细胞直径大于 8 μm 的两倍^[41]。因此, 柘林湾浮游动物对角毛藻的摄食压力并不大, 角毛藻群落密度与浮游动物丰度的正相关关系也说明了这一点(图6)。

综上所述, 在一个富营养化程度较高的近岸海域, 水温、光照、种间竞争和浮游动物群落结构的组成对角毛藻种类丰富度和群落密度的影响可能比营养盐含量更为重要^[42~44], 它体现了近岸海域生态系统复杂多样的特性。尽管目前还没有柘林湾发生角毛藻赤潮的记录, 但是如果柘林湾浮游动物丰度下降和群落结构变化的趋势持续下去, 来自于浮游动物的捕食压力和来自其他浮游植物优势种群的种间竞争可能会逐渐减少, 那么角毛藻赤潮的发生机率就会随之增大。

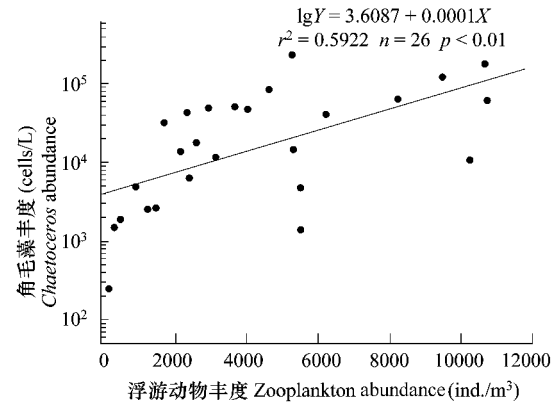


图6 角毛藻密度与浮游动物丰度的关系

Fig. 6 The relationship between *Chaetoceros* density and zooplankton abundance

References:

- [1] Guo Y J, Qian S B, et al. *Chaetoceros* Ehrenberg, 1844. In: Guo Y J ed. *Flora Algarum Marinarum Sinicarum Tomus, V, Bacillariophyta No. 1 Centricae*. Beijing: Science Press, 2003. 276.
- [2] Zhou K, Huang C J, Jiang S, et al. 2000–2001 Annual dynamics of nutrients in Zhelin Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2116–2124.
- [3] Huang C J, Du H, Chen S W, et al. The temporal and spatial distribution of the nitrogen, phosphate and silicate in Zhelin Bay: 2001–2002. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2004, 35(1): 21–29.
- [4] Huang C J, Dong Q X, Zheng L. Taxonomic and Ecological studies on a large scale *Phaeocystis pouchetii* bloom in the southeast coast of China during late 1997. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 1999, 30(6): 581–590.
- [5] Chen S W, Gao Y H, Huang C J, et al. First recording of *Thalassiosira diporocyclus* bloom in the southeast China Sea. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2004, 35(2): 130–137.
- [6] China State Bureau of Technical Supervision. Standard of Marine Investigation. Beijing: Standards Press of China. 1992, 1–55.
- [7] Lin J M, Yang Q L. Phytoplankton distribution of Quanzhou Bay. *Fujian Fisheries*, 1990, 3: 7–14.
- [8] Qian H L, Lu S H, Qi Y Z. Studies on phytoplankton and red tide organisms in embayments on central Guangdong coast III. Zhenhai Bay. *Marine Science Bulletin*, 1993, 12(2): 63–66.
- [9] Lv S H, Qi Y Z, Qian H L, et al. Studies on phytoplankton and red tide causative species in Zhanjiang Harbour, South China Sea. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 1994, 25(2): 190–196.
- [10] Lv S H, Qi Y Z, Qian H L, et al. Studies on phytoplankton and red tide organisms in embayments on central Guangdong coast II. Guanghai Bay. *Marine Science Bulletin*, 1993, 12(2): 57–62.
- [11] Ute F T, Carina B L, Gerold W. Vertical fluxes of diatoms and silicoflagellates in the eastern equatorial Atlantic, and their contribution to the sedimentary record. *Marine Micropaleontology*, 1996, 28: 73–96.
- [12] Yang Q L, Lin G M, Cai B J. Species composition and distribution of phytoplankton in eastern Xismen waters. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2000, 19(3): 337–343.
- [13] Qi Y Z, Li S H. The ecological characteristics of phytoplankton in Dapeng Bay, South China Sea. *Journal of Jinan University (Natural Science)*,

- 1995, 16(1): 111—117.
- [14] Yang Q L, Chen Q H, Lin J M, *et al.* Ecological characteristics of phytoplankton community from eutrophic waters in the Maluan Bay. *Acta Oceanologica Sinica*, 1998, 20(1): 101—112.
- [15] Juan M T, Emma O. Seasonal variations of diatoms and dinoflagellates in a shallow, temperate estuary, with emphasis on neritic assemblages. *Hydrobiologia*, 2001, 444: 119—133.
- [16] Zhang D P, Li X T, Huang Y F, *et al.* Composition of phytoplankton on the coasts of Shenzhen and the development tendency of red tide. *Journal of Jinan University (Natural Science)*, 2001, 22(5): 122—126.
- [17] Kobayashi F, Takahashi K. Distribution of diatoms along the equatorial transect in the western and central Pacific during the 1999 La Niña conditions. *Deep-Sea Research*, 2002, II 49: 2801—2821.
- [18] Li C H, Lin Q, Cai W G, *et al.* Characteristics of species composition and quantity distribution of phytoplankton in Kaozhouyang Bay. *Journal of Fisheries of China*, 2005, 29(3): 379—385.
- [19] Sun J, Liu D Y, Xu J *et al.* The netz-phytoplankton community of the Central Bohai Sea and its adjacent waters in spring 1999. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 2003—2016.
- [20] Chieko A, Maiko T, Richard W J. Living diatom assemblages from North Pacific and Bering Sea surface waters during summer 1999. *Deep-Sea Research II*, 2005, 52: 2186—2205.
- [21] Antonio B, M. Teresa Á-O *et al.* Seasonal variability of plankton blooms in the Ria de Ferrol (NW Spain) II. Plankton abundance, composition and biomass. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 63: 285—300.
- [22] Morozova T V, Orlova T Y. Monitoring of phytoplankton in the area of a sea farm in Vostok Bay (Sea of Japan). *Russian Journal of Marine Biology*, 2005, 31(1): 1—6.
- [23] Chen G B, Dai H, Li F Q. Phytoplankton ecology in Funing Bay, Sandu Bay red tide monitoring area, Fujian Province. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2004, 23(4): 469—480.
- [24] Wei G F, Wang Z D, Lian J S. Succession of dominant phytoplankton species in spring 2002 at Dapeng Ao Cove, Daya Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2285—2292.
- [25] Li Y, Li R X, *et al.* A preliminary study on phytoplankton community structure and its changes in the Jiaozhou Bay. *Advances in Marine Science*, 2005, 23(3): 328—334.
- [26] 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.
- [27] Xu N, Chen J F, *et al.* Dynamic analysis on several algal bloom events in Daya Bay of Guangdong I. Process of algal bloom and its relationship with environmental factors. *Marine Environmental Science*, 2001, 20(2): 1—12.
- [28] Tolga G, Yaşar D, Şevket G. Effects of light path lengths and initial culture density on the cultivation of *Chaetoceros muelleri*. *Aquaculture*, 2003, 217: 431—436.
- [29] Carter C M, Ross A H *et al.* In situ microcosm experiments on the influence of nitrate and light on phytoplankton community composition. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2005, 326: 1—13.
- [30] María del P S, Domenico V. The growth rate, biomass production and composition of *Chaetoceros* sp. grown with different light sources. *Aquacultural Engineering* (in press).
- [31] Liu H, Fang J G, Dong S L, *et al.* Study on phytoplankton in raft-culture areas of Laizhou Bay and Sanggou Bay. *Marine Fisheries Research*, 2003, 24(2): 9—17.
- [32] Onodera J, Takahashi K, Honda M C. Diatom fluxes at Station KNOT in the western subarctic Pacific, 1997—2000. *Bulletin of the Plankton Society of Japan*, 2003, 50: 1—15.
- [33] Wu J H, Yang X H, *et al.* Relationship between environmental factors and algal blooms mainly affected by trace elements in mariculture area of Aotou Harbor, Daya Bay. *Journal of Tropical Oceanography*, 2002, 21(3): 23—30.
- [34] Chieko A, Maiko T, Richard W J. Living diatom assemblages from North Pacific and Bering Sea surface waters during summer 1999. *Deep-Sea Research II*, 2005, 52: 2186—2205.
- [35] Antonio B, M. Teresa Á-O, *et al.* Seasonal variability of plankton blooms in the Ria de Ferrol (NW Spain) II. Plankton abundance, composition and biomass. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 63: 285—300.
- [36] Zhou K, Huang C J, Jiang S, *et al.* 2000—2001 Annual dynamics of nutrients in Zhelin Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2116—2124.
- [37] Huang C J, Dong Q X, Wu C W, *et al.* Spatial-temporal distribution of chlorophyll a in the Zhelin Bay — A large-scale maricultural area. *Acta Oceanologica Sinica*, 2005, 27(2): 1—7.
- [38] Dong Q X, Lin X P, He X, *et al.* Taxonomic composition, abundance and biomass of mesozooplankton in the zhelin Bay — An estuary with

intensive aquaculture. *Acta Oceanologica sinica*, 2006, 25:92—111.

- [39] Xabier I, Jef H, Roger P H. Global biodiversity patterns of marine phytoplankton and zooplankton. *Nature*, 2004, 429: 863—867.
- [40] Akihiro S. Chlorophyll-a and primary production during spring in the oceanic region of the Oyashio Water, the north-western Pacific. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2000, 80: 343—354.
- [41] Strom S L, Brainard M A, Holmes J L. Phytoplankton blooms are strongly impacted by microzooplankton grazing in coastal North Pacific waters. *Marine Biology*, 2001, 138: 355—368.
- [42] Yongsik S, Richard L W, Iris C A. Seasonal variations of size-fractionated phytoplankton along the salinity gradient in the York River estuary, Virginia (USA). *Journal of Plankton Research*, 2000, 22(10): 1945—1960.
- [43] Kuipers B R, Witte H J. Grazing impact of microzooplankton on different size classes of algal in the North Sea in early spring and mid-summer. *Marine Ecology Progress Series*, 1999, 180: 93—104.
- [44] Shinji H, Akihiro S. Light utilization efficiency of size-fractionated phytoplankton in the subarctic Pacific, spring and summer 1999: high efficiency of large-sized diatom. *Journal of Plankton Research*, 2002, 24(1): 83—87.

参考文献:

- [1] 郭玉洁, 钱树本, 等. 角毛藻属 *Chaetoceros* Ehrenberg, 1844. 中国海藻志 第五卷 硅藻门 第一册 中心纲. 北京: 科学出版社, 2003. 276.
- [2] 周凯, 黄长江, 姜胜, 等. 2000~2001 粤东柘林湾营养盐分布. *生态学报*, 2002, 22(12): 2116~2124.
- [3] 黄长江, 杜虹, 陈善文, 等. 2001~2002 年柘林湾大量营养盐的时空分布. *海洋与湖沼*, 2004, 35(1): 21~29.
- [4] 黄长江, 董巧香, 郑磊. 1997 年底中国东南沿海大规模赤潮原因生物的形态分类与生态学特征. *海洋与湖沼*, 1999, 30(6): 581~590.
- [5] 陈善文, 高亚辉, 黄长江, 等. 双环海链藻 (*Thalassiosira diporocyclus* Hasle) 赤潮. *海洋与湖沼*, 2004, 35(2): 130~137.
- [6] 国家技术监督局. 海洋调查规范. 北京: 中国标准出版社, 1992, 1~55.
- [7] 林金美, 杨清良. 泉州湾浮游植物的分布. *福建水产*, 1990, 3: 7~14.
- [8] 钱宏林, 吕颂辉, 齐雨藻. 南海港湾浮游植物与赤潮生物研究Ⅲ 镇海湾. *海洋通报*, 1993, 12(2): 63~66.
- [9] 吕颂辉, 齐雨藻, 钱宏林, 等. 湛江港浮游植物与赤潮植物的初步研究. *海洋与湖沼*, 1994, 25(2): 190~196.
- [10] 吕颂辉, 齐雨藻, 钱宏林, 等. 南海港湾浮游植物与赤潮生物研究Ⅱ 广海湾. *海洋通报*, 1993, 12(2): 57~62.
- [12] 杨清良, 林更铭, 蔡秉及. 厦门东侧海域浮游植物的种类组成与分布. *台湾海峡*, 2000, 19(3): 337~343.
- [13] 齐雨藻, 吕颂辉. 南海大鹏湾浮游植物的生态学特征. *暨南大学学报(自然科学版)*, 1995, 16(1): 111~117.
- [14] 杨清良, 陈其焕, 林金美, 等. 厦门马銮湾富营养化水域浮游植物群落的生态特征. *海洋学报*, 1998, 20(1): 101~112.
- [16] 张冬鹏, 黎晓涛, 黄远峰, 等. 深圳沿海浮游植物组成及赤潮发生趋势分析. *暨南大学学报(自然科学版)*, 2001, 22(5): 122~126.
- [18] 李纯厚, 林钦, 蔡文贵, 等. 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.
- [19] 孙军, 刘东艳, 徐俊, 等. 1999 年春季渤海中部及其附近海域的网采浮游植物群落. *生态学报*, 2004, 24(9): 2003~2016.
- [23] 陈国斌, 戴红, 李伏庆. 福建省三都湾赤潮监控区福宁湾浮游植物的生态. *台湾海峡*, 2004, 23(4): 469~480.
- [24] 韦桂峰, 王肇鼎, 练健生. 大亚湾大鹏澳水域春季浮游植物优势种的演替. *生态学报*, 2003, 23(11): 2285~2292.
- [25] 李艳, 李瑞香, 等. 胶州湾浮游植物群落结构及其变化的初步研究. *海洋科学进展*, 2005, 23(3): 328~334.
- [26] 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.
- [27] 徐宁, 陈菊芳, 等. 广东大亚湾藻类水华的动力学分析 I. 藻类水华的生消过程及其与环境因子的关系. *海洋环境科学*, 2001, 20(2): 1~12.
- [31] 刘慧, 方建光, 董双林, 等. 莱州湾和桑沟湾养殖海区浮游植物的研究 I. *海洋水产研究*, 2003, 24(2): 9~17.
- [33] 吴京洪, 杨秀环, 等. 大亚湾澳头养殖区赤潮与环境的关系研究 II. 环境因子与微量元素主导型赤潮的关系研究. *热带海洋学报*, 2002, 21(3): 23~30.
- [36] 周凯, 黄长江, 姜胜, 等. 2000~2001 粤东柘林湾营养盐分布. *生态学报*, 2002, 22(12): 2116~2124.
- [37] 黄长江, 董巧香, 吴常文, 等. 大规模养殖区柘林湾叶绿素 a 的时空分布. *海洋学报*, 2005, 27(2): 1~7.