

粤东柘林湾根管藻 (*Rhizosolenia*) 群落组成的季节特征

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根管藻 (*Rhizosolenia*) 种群的时空分布进行了季节性调查。调查期间, 共发现根管藻 16 种 (含变种、变型), 其中柔弱根管藻 (*R. delicatula*), 脆根管藻 (*R. fragilissima*), 刚毛根管藻 (*R. setigera*) 和笔尖根管藻粗径变种 (*R. styliformis* var. *latissima*) 均为全年出现种。柘林湾根管藻种类丰富度和群落密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, 柘林湾是一个根管藻种类数很高而群落密度处于中等水平的海湾。分析表明, 水温是影响柘林湾根管藻种类丰富度和群落密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; 根管藻; 种群动力学

文章编号: 1000-0933(2008)02-0559-11 中图分类号: Q178 文献标识码: A

Seasonal trait of *Rhizosolenia* 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(2): 0559 ~ 0569.

Abstract: Zhelin bay is characterized by intensive aquaculture along the coast of Southeast China, where approximately half of the water area are occupied by either cultured oysters or caged-fish farms. As one of the most important bays for large-scale mariculture in Guangdong Province, aquaculture production in Zhelin Bay has made significant contributions to the local economy. However, development of intensified caged-fish farms during the last decade has accelerated eutrophication process of the bay, and massive fish kills due to harmful algal blooms such as *Phaeocystis pouchetii* were reported in 1997 and 1999. Diatom blooms such as *Skeletonema costatum* and *Thalassiosira diporocyclus* have also been reported in recent years. Since May 2000, our research group has initiated an ecological investigation around Zhelin Bay, where samples were collected monthly or quarterly for analysis of phytoplankton, zooplankton, microorganism, water temperature, salinity, nutrients and other environmental parameters. In the present study, we described the seasonal dynamics of *Rhizosolenia* community in 9 sampling stations from May 2004 to February 2005.

Samples were collected at high tide (± 1.5 h) quarterly during the investigation. For quantitative phytoplankton analysis, one liter of water samples were collected with 5-L HQM-1 sampling bottles 0.5 m under the surface and 0.5 m above the bottom at each station. Immediately after sampling, the samples were fixed with Lugol's iodine solution with a

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:2006-09-08; **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。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: 2006-09-08; **Accepted date:** 2007-07-02

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

final concentration of 15‰ and then transferred to graduated glass cylinders and concentrated to 30 — 100 ml gradually through sedimentation for a period of 3 days. Species identification and density counting was performed with inverted microscope (Zeiss Axiovert25, magnification 400 ×) using a 1-ml Sedgewick-Rafte counting frame, and a minimum of 400 cells were counted for each sample. Water temperature, salinity, turbidity, pH value, dissolved oxygen (DO) and water depth were determined *in situ* with a portable water quality meter (YSI6600-02, USA). Additional water samples (250-ml) were collected (filtered *in situ*) for nutrient and chlorophyll *a* analysis, and they were measured with an injection water quality analyzer (SKALAR, Netherlands) and a spectrophotometer (UV-2501PC, Japan), respectively.

A total of 72 phytoplankton samples were collected in the present study, and among which *Rhizosolenia* was found to be present in 64 samples, with total 16 *Rhizosolenia* species; *R. delicatula*, *R. fragilissima*, *R. setigera*, *R. styliformis* var. *latissima* were the species appeared in Zhelin bay all year round. The community density ranged from 0 to 25.8×10^3 cells/dm³ and an overall average of 5.04×10^3 cells/dm³, contributing 4.1% to total phytoplankton density.

Spatially, *Rhizosolenia* species abundance ranged from 4 to 14, and the density ranged from $2.18 - 11.02 \times 10^3$ cells/dm³, both were characterized by a typical increasing pattern with the lowest located inner and highest located outer of the bay. Temporally, *Rhizosolenia* species abundance ranged from 6 to 15, and the density ranged from $0.09 - 9.51 \times 10^3$ cells/dm³, 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 *Rhizosolenia* species abundance and mid-level community density. Our analysis indicated that water temperature was the key factor affecting seasonally the species richness and community density of *Rhizosolenia* in Zhelin bay, and the light, interspecific competition and structure of zooplankton community were important factors controlling its spatial and temporal distributions.

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

根管藻(*Rhizosolenia*)隶属于硅藻门(Bacillariophyta),中心纲(Centricae),管状硅藻目(Rhizosoleniales),根管藻科(Rhizosoleniaceae),根管藻属(*Rhizosolenia*)^[1]。本属大都是暖海性种^[1],是常见的浮游硅藻。

由于根管藻一直以来被认为是无毒藻类,其研究始终没有得到国内外研究者的广泛重视,研究范围也很狭窄,主要为对浮游植物群落生态调查结果中某一种或某几种根管藻的调查结果的简单记录^[2~5]。有关根管藻的其他方面的研究国外虽然有零星报道,也主要集中在20世纪60~80年代。比如,Baars对几种根管藻的最适生长水温的研究^[6],以及Qasim等^[7]对笔尖根管藻(*R. styliformis*)的光饱和点的研究等。在我国,仅钱树本于20世纪80年代后期对黄东海邻接水域的根管藻群落组成及其对水系的指标意义进行过系统研究^[8]。自20世纪90年代至今,国内外对根管藻的研究很少,有关根管藻群落生态学的研究更是鲜有报道。然而,1987年8月底和10月中旬发生于澳大利亚东南部菲利普港湾的根管藻(*R. chunii*)赤潮导致了贝壳类动物的大量死亡^[9];2003年3~4月发生于我国广州番禺南沙龙穴岛养殖场的刚毛根管藻(*R. setigera*)赤潮导致了大面积鱼类死亡^[10]。这些事实表明,对根管藻群落生态学进行研究,并进一步探讨根管藻的赤潮发生机理是非常有必要的。

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 km²)横卧其间。因其良好的避风条件,水产增养殖业于20世纪八十年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^[11,12]。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上世纪末急速恶化,不仅养殖业的难度显著加大,而且于上世纪末和本世纪初连续发生了各种赤潮,对渔业生产和海洋环境均造成了负面影响^[11,13,14]。为了解柘林湾生态系统的现状及未来演化趋势,探索大规模有害赤潮频发的成因,以及评估大规模增养殖业对海湾生态系统产生的负面影响,本研究小组从2000年春季开始对柘林湾生态系统的结构与功能进行了长期的综合调查与现场监测,内容涉及水化因子、浮游生物、微生物、底泥营养盐和重金属污染等。本文将详细介绍该综合调查中有关根管藻群

落生态学的季节性研究的调查结果。

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;夏季 8 月;秋季 11 月;冬季 2 月)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》^[15]中的浅水Ⅲ型浮游生物采集网(网口直径为 37cm、面积为 0.1 m^2 ,网目孔径为 $77 \mu\text{m}$),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 $77 \mu\text{m}$)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。分析时取瓶采均匀样品 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。根管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根管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,本文采用其它数值均为表、底层平均值。

2 结果

2.1 根管藻的种类组成

调查期间,共采集浮游植物样品 72 份,其中 64 份样品有根管藻记录,占总样品数的 88.9%,根管藻的种类组成及其季节分布如表 1 所示。在所采集样品中共发现根管藻 16 种(含变种、变型),其中,柔弱根管藻(*R. delicatula*),脆根管藻(*R. fragilissima*),刚毛根管藻(*R. setigera*)和笔尖根管藻粗径变种(*R. styliformis* var. *latissima*)均为全年出现种。

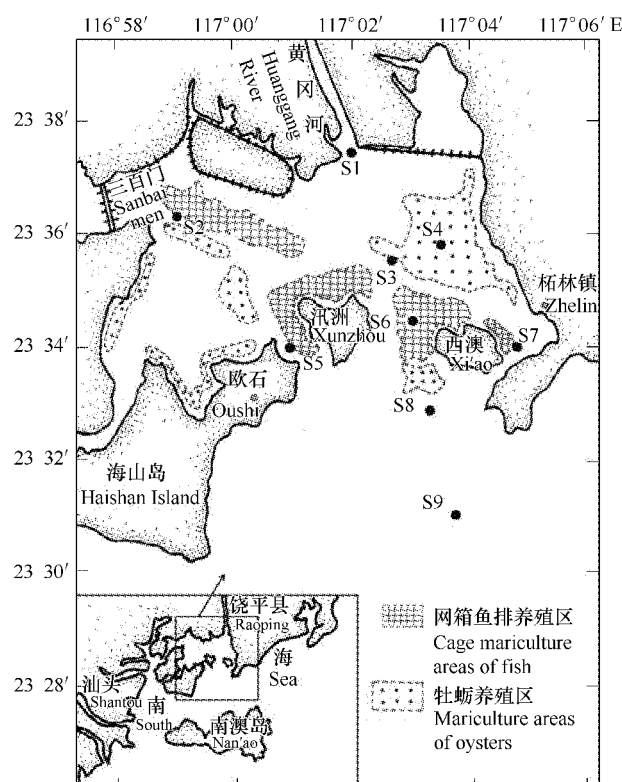


图 1 柘林湾调查站位的分布

Fig. 1 The map of sampling stations in Zhelin Bay

表 1 柘林湾根管藻(*Rhizosolenia*) 种类名录及其季节分布Table 1 Taxa composition and seasonal distribution of *Rhizosolenia* in Zhelin Bay

序号 No.	种名 Species	密度 Density(cells/dm ³)			
		春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
1	翼根管藻(原型) <i>R. alata</i> f. <i>genuine</i> Gran	172	17	0	6
2	翼根管藻纤细型 <i>R. alata</i> f. <i>gracillima</i> (Cleve) Grunow	17	6	0	0
3	翼根管藻印度型 <i>R. alata</i> f. <i>indica</i> (Peragallo) Ostenfeld	11	6	0	0
4	伯氏根管藻 <i>R. bergonii</i> Peragallo	6	0	6	0
5	距端根管藻 <i>R. calcar-avis</i> Schultze	33	0	0	0
6	厚刺根管藻 <i>R. crassispina</i> Schröder	694	6	22	0
7	圆柱根管藻 <i>R. cylindrus</i> Cleve	17	0	0	0
8	柔弱根管藻 <i>R. delicatula</i> Cleve	339	861	89	6
9	脆根管藻 <i>R. fragilissima</i> Bergon	2633	5722	850	22
10	覆瓦根管藻 <i>R. imbricate</i> f. <i>imbricate</i> Brightwell	72	217	22	0
11	覆瓦根管藻细径变种 <i>R. imbricate</i> var. <i>schrubsolei</i> (Cleve) Schröder	106	28	33	0
12	粗根管藻 <i>R. robusta</i> Norman	0	6	6	6
13	刚毛根管藻 <i>R. setigera</i> Brightwell	506	406	367	17
14	中华根管藻 <i>R. sinensis</i> Qian	328	528	244	0
15	斯托根管藻 <i>R. stolterfothii</i> Peragallo	3283	1533	161	0
16	笔尖根管藻粗径变种 <i>R. styloformis</i> var. <i>latissima</i> Brightwell	428	172	122	33

2.2 根管藻种类丰富度的时空分布

4 个航次根管藻种类丰富度的站位实值的变化范围为 4~14 种,总值为 16 种。根管藻总种类丰富度的最高值出现在春季 5 月份,变化范围为 3~12 种,总值为 15 种(图 2)。其次,依次为夏季 8 月份的 13 种(2~11 种)和秋季 11 月份的 11 种(3~8 种),最低为冬季 2 月份的 6 种(0~3 种)。其中,最低值与最高值相差达 2.5 倍。

在空间分布上,整个调查期间根管藻种类丰富度的最大值出现在湾外的 S8 站位,为 14 种,其次是湾外的 S9 和西侧湾口的 S5,均为 13 种,最低值和次低值分别出现在黄冈河口的 S1(4 种)和湾内三百门的 S2(6 种)(图 2)。除冬季 2 月份根管藻种类丰富度的最大值出现在湾内牡蛎养殖中心的 S4,最小值出现在中央和东侧湾口的 S6 和 S7 外,其它季节根管藻种类丰富度的最大值均出现在湾外的某一站位,最小值均出现在湾内的 S1 或 S2。总体而言,柘林湾根管藻种类丰富度呈现由湾内向湾外递增的趋势。

2.3 根管藻群落密度的时空分布

调查期间根管藻群落密度的站位实值的变化范围为 $0 \sim 25.8 \times 10^3$ cells/dm³,均值为 5.04×10^3 cells/dm³。根管藻群落密度月均值的最高值出现在夏季 8 月份,变化范围为 $1.15 \sim 25.8 \times 10^3$ cells/dm³,月均值为 9.51×10^3 cells/dm³(图 3)。其次,依次为春季 5 月的 8.64×10^3 cells/dm³($2.1 \sim 15.55 \times 10^3$ cells/dm³)和秋季 11 月份的 1.92×10^3 cells/dm³($0.95 \sim 3.35 \times 10^3$ cells/dm³),最低为冬季 2 月份的 0.09×10^3 cells/dm³($0 \sim 0.2 \times 10^3$ cells/dm³)。其中,最大值和最小值相差 105.7 倍。

在空间分布上,整个调查期间根管藻群落密度的最大值出现在湾外的 S9 站位,为 11.02×10^3 cells/dm³,其次是湾外的 S8,为 9.59×10^3 cells/dm³,最低值和次低值分别出现在黄冈河口的 S1(2.18×10^3 cells/dm³)和湾内三百门的 S2(2.45×10^3 cells/dm³)(图 3)。在春夏高温季节,根管藻群落密度的最大值均出现在湾外的 S9,最小值分别出现在湾内的 S3 和 S1;而秋季的最大值出现在湾内三百门的 S2,最小值出现在中央湾口的 S6;冬季因群落密度过低没有呈现明显的分布差异。总体而言,柘林湾根管藻种群密度呈现由湾内向湾外递增的趋势。

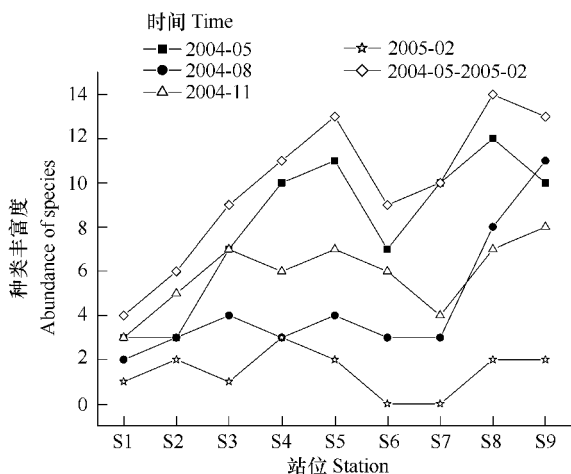


图2 调查期间各站位根管藻的种类丰富度

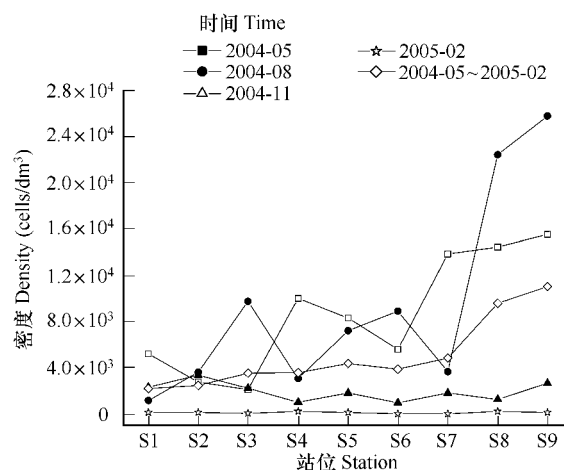
Fig. 2 Distribution of *Rhizosolenia* taxa abundance at each station

图3 调查期间各站位根管藻的群落密度

Fig. 3 Distribution of *Rhizosolenia* density at each station

2.4 根管藻群落密度与环境因子的关系

将根管藻群落密度的对数值分别与水温、盐度、营养盐和浮游动物数量进行回归分析,结果表明,根管藻群落密度与水温存在极显著($p < 0.0001$)正相关关系,而与盐度不存在统计学意义上的相关性(图4);与溶解无机氮(DIN)存在极显著($p < 0.0001$)负相关关系,与铁(Fe)和溶解无机磷(DIP)均存在显著意义的负相关关系,而与硅酸盐($\text{SiO}_4\text{-Si}$)不存在相关性(图5);与浮游动物数量存在显著正相关关系(图6)。

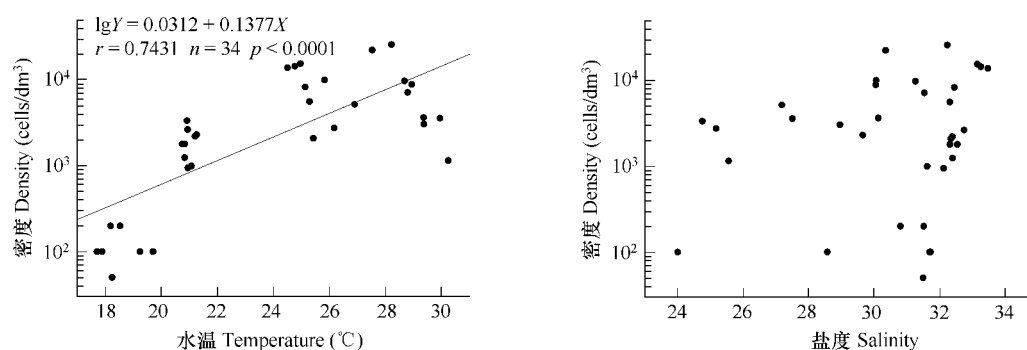


图4 根管藻群落密度与水温、盐度的关系

Fig. 4 The relationship between *Rhizosolenia* density and water temperature, salinity

3 讨论

调查期间柘林湾根管藻群落的平均密度为 $5.04 \times 10^3 \text{ cells/dm}^3$, 占浮游植物总细胞数的 4.1%。赖廷和等^[16]的研究发现,我国北海近岸水域的根管藻群落密度在浮游植物群落中所占百分比为 6.5%,略高于柘林湾的调查结果。从作者所掌握的资料分析来看,20 世纪 80 年代末以来,国内外有报道的有关根管藻的生态调查就有 25 次(部分详细数据请见表 2)。在这些调查中,记录有根管藻群落总种类数的有 15 次,分布范围为 2~15 种,最大值略低于柘林湾根管藻总种类数;而记录有根管藻群落密度平均值的仅有 3 次,均值为 $0.05 \times 10^3 \text{ cells/dm}^3$,与柘林湾根管藻群落密度相差 101 倍。然而,某些海域(比如莱州湾)的单种根管藻的密度就高于柘林湾根管藻的密度。因此,总体而言,柘林湾是一个根管藻种类数较高而群落密度居中的海湾。分析其原因有:(1)根管藻大都是暖海性种,而柘林湾位于亚热带海区,该湾全年的水温平均值为 23.45°C , Baars 等^[6]对几种根管藻的研究显示,它们的最适生长温度均在 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 之间,柘林湾的水温环境有利于根管藻的生长繁殖;(2)Qasim 等^[7]对 11 种海洋浮游藻类的研究发现,根管藻的光饱和点是最高的,而柘林湾是一个大

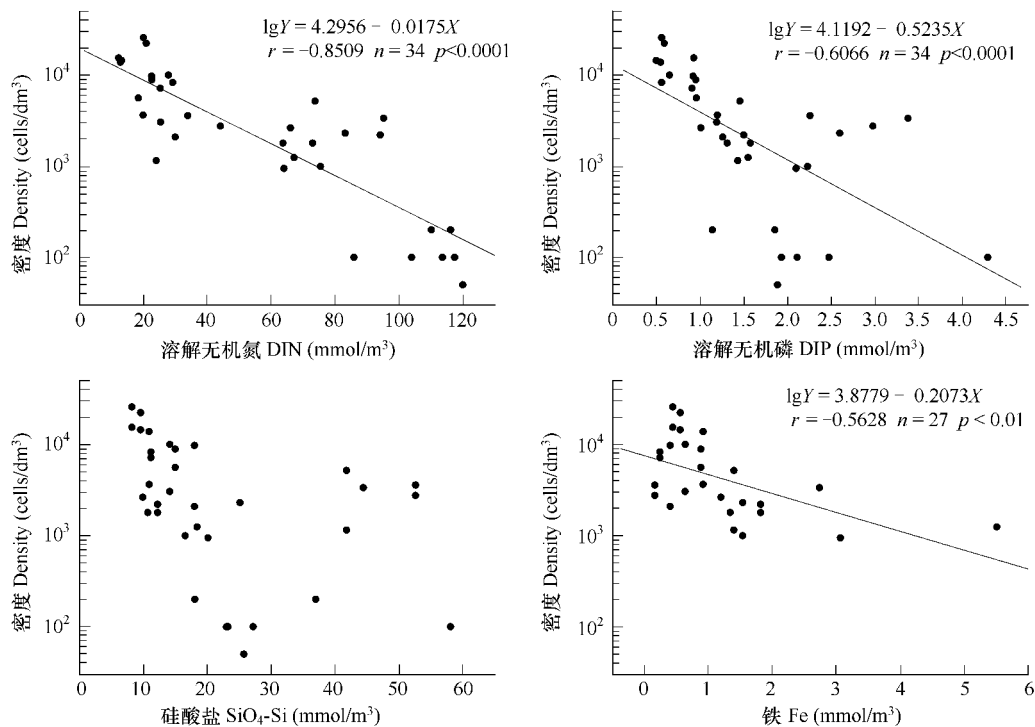


图5 根管藻种群密度与营养盐和铁的关系

Fig. 5 The relationship between *Rhizosolenia* density and nutrients、Fe

规模养殖区,受各类水面上和水体中增殖设施的影响,水下照度相对较低,光强度的衰减不利于根管藻的大量繁殖;(3)根管藻在柘林湾养殖区的群落密度较低,很可能是遇到一些偏好养殖区的浮游植物种类(如在柘林湾浮游植物种群中占 27.99% 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^[30]。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,角毛藻 (*Chaetoceros*) 和菱形藻 (*Nitzschia*) 在柘林湾浮游植物种群中也占有很大优势,所占百分比分别为 29.0% 和 16.6%,加大了种间竞争的强度。

大量的研究表明,春夏两季是根管藻的旺发阶段^[10, 21, 27, 28],国内外对根管藻赤潮的报道不多,仅有的几次根管藻赤潮均发生在春季。Trigueros 等^[21]的研究发现,西班牙 Urdaibai 河口春季根管藻发生赤潮,主要优势种脆根管藻 (*R. fragilissima*) 的密度高达 1.2×10^6 cells/dm³,占硅藻群体总细胞数的 77.0%。广州番禺南沙龙穴岛养殖鱼塘 2003 年春季发生刚毛根管藻 (*R. setigera*) 赤潮时密度高达 2.65×10^9 cells/dm³,占浮游植物总细胞数的 99.8%^[10]。柘林湾春季根管藻群落密度为 8.64×10^3 cells/dm³,占浮游植物总细胞数的 4.6%,群落密度和百分比组成均偏低;即使是在根管藻群落密度最高的夏季,其数值也与已有赤潮记录相差甚远。柘林湾春季角毛藻 (*Chaetoceros*) 在浮游植物总细胞数中所占百分比为 42.0%,骨条藻 (*Skeletonema*) 占 27.1%,菱形藻 (*Nitzschia*) 占 6.5%,种间竞争的存在会在很大程度上抵消适宜水温为根管藻群落增长所带来的益处。

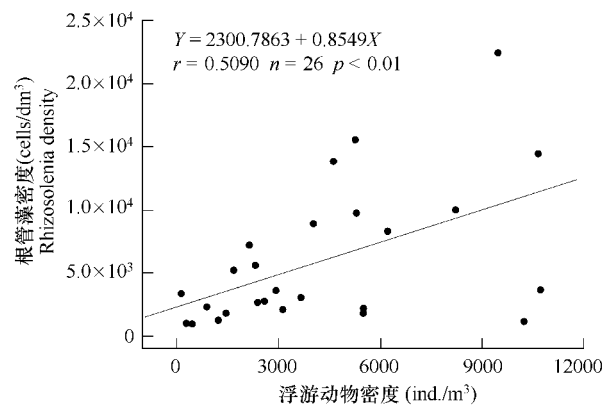


图6 根管藻种群密度与浮游动物的关系

Fig. 6 The relationship between *Rhizosolenia* density and abundance

表 2 柘林湾根管藻与国内外其它海域的比较

Table 2 Comparison of *Rhizosolenia* between Zhelin Bay and other waters

海域 Region	采样时间 Sampling time	种 Taxa	种类数 Species	密度 Density ($\times 10^3$ cells/dm ³)	参考文献 References
黄东海邻接水域(中国) The adjacent area of the Huanghai Sea and East China Sea	1987-05—06	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	15		[8]
		斯托根管藻 <i>R. stolterfothii</i>		0.194	
		刚毛根管藻 <i>R. setigera</i>		0.165	
菲利普港湾(澳大利亚) Port Phillip Bay (Australia)	1987-09—12	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	3		[9]
厦门西港(中国) Xiamen Western Harbor (China)	1990-02—11	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>		0.007	[17]
浔江湾(中国) Xunjiang Bay (China)	1990-02—11	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>		0.078	[17]
大嶼岛海域(中国) Water around Dadeng Island (China)	1990-02—11	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>		0.065	[17]
中国南海 South China Sea	1994	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	5		[2]
加纳利岛海域 Water around Canary Island	1996	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	6		[18]
胶州湾(中国) Jiaozhou Bay (China)	1997-06—09	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	6		[3]
	1998-04—09	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>			
	2001-08	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	2		[5]
	2003-01—12	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	9		[19]
	2003-06	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	3		[20]
Urdaibai 河口(西班牙) The Urdaibai Estuary (Spain)	1997-02—1998-01	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	7		[21]
	1997-04	脆根管藻 <i>R. fragilissima</i>		1200	
长江口(中国) Changjiang Estuary (China)	1997-11—2000-03	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	8		[22]
深圳沿海(中国) The Coasts of Shenzhen (China)	1998-11	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	8		[23]
黄海(中国) The Yellow Sea (China)	1998-05—06	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	3		[24]
中西太平洋赤道区域 The Western and Central Equatorial Pacific	1998-12—1999-01	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	6		[25]
渤海中部及邻近水域(中国) The Central Bohai Sea and its adjacent waters	1999-04—05	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	6		[26]
		刚毛根管藻 <i>R. setigera</i>		0.05	
湛江养殖区(中国) Mariculture area of Zhanjiang (China)	Summer of 2000	斯托根管藻 <i>R. stolterfothii</i>		1.0	[27]
莱州湾(中国) Laizhou Bay (China)	2001-03	斯托根管藻 <i>R. stolterfothii</i>		15.8	[28]
		刚毛根管藻 <i>R. setigera</i>		2.07	
	2001-06	斯托根管藻 <i>R. stolterfothii</i>		25.72	

续表

海域 Region	采样时间 Sampling time	种 Taxa	种类数 Species	密度 Density ($\times 10^3$ cells/dm ³)	参考文献 References
三都湾(中国) Sandu Bay (China)	2001-10	翼根管藻 <i>R. alata</i>		1.8	
		斯托根管藻 <i>R. stouterfothii</i>		1.0	
	2001-12	柔弱根管藻 <i>R. delicatula</i>		116	
		斯托根管藻 <i>R. stouterfothii</i>		2.4	
		刚毛根管藻 <i>R. setigera</i>		0.9	
	2002-01	柔弱根管藻 <i>R. delicatula</i>		3.8	
		斯托根管藻 <i>R. stouterfothii</i>		1.0	
	2002-03 — 2003-10	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	10		[29]
		刚毛根管藻 <i>R. setigera</i>		2650000	[10]
	2004-05	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	15	8.64 (2.1 ~ 15.55)	本文 This paper
		根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	13	9.51 (1.15 ~ 25.8)	
		根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	11	1.92 (0.95 ~ 3.35)	
		根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	6	0.09 (0 ~ 0.2)	
		根管藻 <i>Rhizosolenia</i>	16	5.04 (0 ~ 25.8)	
	2004-05 — 2005-02	根管藻 <i>Rhizosolenia</i>			

柘林湾根管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^[11],这从根管藻群落密度均分别与溶解无机氮、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)。这种根管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,影响到根管藻光合作用的效率,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水质严重恶化的重要表现^[31]。

根管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根管藻大都是暖海性种的特性有关^[1],根管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,根管藻的细胞长度均大于20 μm ,属于小型浮游植物(Micro-phytoplankton),而柘林湾浮游动物群落结构小型化趋势明显^[32],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^[33],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(例如根管藻)的摄食压力^[34,35],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^[36]。因此,柘林湾浮游动物对根管藻的摄食压力并不大,根管藻群落密度与浮游动物的数量呈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根管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^[37~39],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根管藻赤潮的记录,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,那么根管藻赤潮的发生机率就会随之增大。

References:

- [1] Guo Y J, Qian Shu Ben, *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] Jiang H, Zheng Y L, *et al.* Diatoms from the surface sediments of the South China Sea and their relationships to modern hydrography. *Marine Micropaleontology*, 2004, 53: 279—292.
- [3] Han X T, Zou J Z, Zhang Y S. Harmful algae bloom species in Jiaozhou Bay and the features of distribution. *Marine Science*, 2004, 28(2): 49—54.
- [4] Sturz A A, Gray S C, *et al.* Seasonal changes of dissolved nutrients within and around Port Foster Deception Island, Antarctica. *Deep-Sea Research II*, 2003, 50: 1685—1705.
- [5] Liu D Y, Sun J, *et al.* The phytoplankton community in summer 2001 in Jiaozhou Bay, China. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2003, 33(3): 366—374.
- [6] Baars J W M. Autecological investigations on marine diatoms 6: *Rhizosolenia robusta* Norman, *Rhizosolenia imbricate* Brightwell and *Rhizosolenia shrubsolei* Cleve. *Hydrobiological Bulletin*, 1988, 22(2): 157—162.
- [7] Qasim S Z, Bhattathiri P M A, Devassy V P. The effect of intensity and quality of illumination on the photosynthesis of some Tropical marine phytoplankton. *Marine Biology*, 1972, 16: 22—27.
- [8] Qian S B, Chai X Y. The indicatory meaning of the *Rhizosolenia* for the adjacent area of the Huanghai Sea and East China Sea. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1989, 19(3): 64—77.
- [9] Parry G D, Langdon J S, Huisman J M. Toxic effects of a bloom of the diatom *Rhizosolenia chunii* on shellfish in Port Phillip Bay, Southeastern Australia. *Marine Biology*, 1989, 102: 25—1.
- [10] Xu G D, Liang Y X, Hu D Q. Analysis and prevention countermeasure on cause of died fish accident in surrounded pond in Nansha Longxue Island. *Guangzhou Environmental Sciences*, 2003, 18(3): 26—28.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Chen S W, Gao Y H, Huang C J, *et al.* First recording of *Thalassiosira diporocyclis* bloom in the southeast China Sea. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2004, 35(2): 130—137.
- [15] China State Bureau of Technical Supervision. *Standard of Marine Investigation*. Beijing: Standards Press of China, 1992. 1—55.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Nave S, Freitas P, Abrantes F. Coastal upwelling in the Canary Island region: spatial variability reflected by the surface sediment diatom record. *Marine Micropaleontology*, 2001, 42: 1—23.
- [19] 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.
- [20] Li G Y, Lu J, He Y J. Relation between diversity of phytoplankton and environmental factors in the Jiaozhou Bay. *Marine Geology Letters*, 2005, 21(4): 10—13.
- [21] Trigueros J M, Orive E. Seasonal variations of diatoms and dinoflagellates in a shallow, temperate estuary, with emphasis on neritic assemblages.

Hydrobiologia, 2001, 444: 119—133.

- [22] Wang Jinhui. HAB alga nearby Changjiang Estuary. Marine Environmental Science, 2002, 21(2): 37—41.
- [23] 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.
- [24] Wang J. Study on phytoplankton in the Yellow Sea in spring. Marine Fisheries Research, 2001, 22(1): 56—61.
- [25] 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 II, 2002, 49: 2801—2821.
- [26] Sun J, Liu D Y, *et al.* The net-phytoplankton community of the Central Bohai Sea and its adjacent waters in spring 1999. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(9): 2003—2016.
- [27] Xu Z N, Lin X T, *et al.* Effect of marine culture on the quality of coastal water in Guangdong province in the summer. Environmental Science, 2002, 23(6): 79—85.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] Morozova T V and 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.
- [31] 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.
- [32] Huang C J, Chen S W, He X, *et al.* Ecological study of zooplankton in Zhelin bay of eastern Guangdong: 2001—2002. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2003, 34(2): 117—130.
- [33] 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.
- [34] Xabier I, Jef H, Roger P H. Global biodiversity patterns of marine phytoplankton and zooplankton. Nature, 2004, 429: 863—867.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [3] 韩笑天, 邹景忠, 张永山. 胶州湾赤潮生物种类及其生态分布特征. 海洋科学, 2004, 28(2): 49—54.
- [5] 刘东艳, 孙军, 等. 2001 年夏季胶州湾浮游植物群落结构的特征. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(3): 366—374.
- [8] 钱树本, 柴心玉. 根管藻对黄东海邻接水域水系的指标意义. 青岛海洋大学学报, 1989, 19(3): 64—77.
- [10] 徐国栋, 梁永禧, 胡迪琴. 南沙龙穴岛基围鱼塘死鱼事件成因分析与防治对策. 广州环境科学, 2003, 18(3): 26—28.
- [11] 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.
- [12] 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.

- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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,19(3):337~343.
- [19] 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.
- [20] 李广玉,鲁静,何拥军. 胶州湾浮游植物多样性及其与环境因子的关系. 海洋地质动态,2005,21(4):10~13.
- [22] 王金辉. 长江口邻近水域的赤潮生物. 海洋环境科学,2002,21(2):37~41.
- [23] 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.
- [24] 王俊. 黄海春季浮游植物的调查研究. 海洋水产科学,2001,22(1):56~61.
- [26] 孙军,刘东艳,等. 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.
- [27] 许忠能,林小涛,等. 广东省海水养殖区对海区环境影响的夏季调查. 环境科学,2002,23(6):79~85.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [31] 黄长江,董巧香,吴常文,等. 大规模增殖养殖区柘林湾叶绿素 a 的时空分布. 海洋学报,2005,27(2):1~7.
- [32] 黄长江,陈善文,何歆,等. 2001~2002 年粤东柘林湾浮游动物的生态学研究. 海洋与湖沼,2003,34(2):117~130.