

# 广西近岸强额孔雀水蚤对球形棕囊藻的下行控制\*

陆家昌<sup>1</sup>, 李杰<sup>2</sup>, 赖俊翔<sup>1</sup>, 王英辉<sup>2</sup>, 姜发军<sup>1</sup>, 许铭本<sup>1</sup>, 庄军莲<sup>1</sup>

(1. 广西科学院, 广西北部湾海洋研究中心, 广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西南宁 530007; 2. 广西大学海洋学院, 广西南宁 530004)

**摘要:**为认识广西近岸强额孔雀水蚤 *Parvocalanus crassirostris* 对球形棕囊藻 (*Phaeocystis globosa*, 下文简称棕囊藻) 的下行控制作用, 首先通过垂直拖网的方式对广西近岸强额孔雀水蚤丰度的月变化进行调查; 然后, 通过室内实验获得强额孔雀水蚤对单细胞棕囊藻的摄食率; 最后, 在棕囊藻赤潮易发季节, 选择固定站位对棕囊藻囊体数量与强额孔雀水蚤丰度之间的关系进行连续观测。结果发现, 强额孔雀水蚤在广西近岸终年存在; 在调查海域, 其丰度变化为  $(1\ 005 \pm 886)$  ind.  $\cdot m^{-3}$  到  $(10\ 723 \pm 5\ 168)$  ind.  $\cdot m^{-3}$ , 平均值为  $(5\ 878 \pm 3\ 373)$  ind.  $\cdot m^{-3}$ 。棕囊藻囊体密度高值期出现在强额孔雀水蚤丰度低值期。强额孔雀水蚤可高效摄食单细胞棕囊藻, 水温从 16℃ 到 28℃ 时, 其对单细胞棕囊藻的摄食率从  $(61.55 \pm 44.65) \times 10^3$  cells  $\cdot ind. \cdot h^{-1}$  到  $(73.92 \pm 4.66) \times 10^3$  cells  $\cdot ind. \cdot h^{-1}$ , 但统计分析结果表明, 水温对摄食率影响并不显著 ( $P > 0.05$ )。较之小孔径浮游生物网 (孔径 160  $\mu m$ ), 以往使用大孔径浮游生物网 (孔径 505  $\mu m$ ) 对广西近岸强额孔雀水蚤进行采样, 所得强额孔雀水蚤丰度降低 2 个数量级。鉴于强额孔雀水蚤可高效摄食单细胞棕囊藻, 而自然海区中又存在高密度的强额孔雀水蚤, 推测强额孔雀水蚤是广西近岸单细胞棕囊藻的重要捕食者, 其摄食调控在控制棕囊藻赤潮的形成中可能发挥重要作用。在研究广西近岸棕囊藻赤潮发生机理时, 建议考虑以强额孔雀水蚤为代表的小型桡足类动物的下行控制作用。

**关键词:** 强额孔雀水蚤 桡足类 球形棕囊藻 下行控制 北部湾

中图分类号: P735 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2020)03-0323-07

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20201027.007

## 0 引言

球形棕囊藻 (*Phaeocystis globosa*, 下文简称棕囊藻) 赤潮多以囊体形式存在<sup>[1]</sup>。大量囊体漂浮水中, 会堵塞鱼类的腮, 导致鱼类缺氧死亡, 给海水养殖

业带来危害<sup>[2]</sup>。棕囊藻赤潮消退时, 囊体死亡分解, 在海水表面形成大量泡沫, 破坏近岸海洋景观, 给海洋旅游业带来不利影响<sup>[3]</sup>。近年来, 棕囊藻赤潮多次在广西近海爆发, 棕囊藻赤潮形成的大量囊体还可能堵塞防城港核电站冷源取水口的筛网, 从而对核电安

\* 广西自然科学基金联合资助培育项目(2018GXNSFAA138194), 广西自然科学基金青年基金项目(2016GXNSFBA380188), 广西科学院基本业务费资助项目(2017YJJ23017)和广西创新驱动发展专项(AA17202020)资助。

### 【作者简介】

陆家昌(1984—), 男, 助理研究员, 主要从事浮游生态学研究, E-mail: jiachanglugx@163.com。

### 【引用本文】

陆家昌, 李杰, 赖俊翔, 等. 广西近岸强额孔雀水蚤对球形棕囊藻的下行控制[J]. 广西科学院学报, 2020, 36(3): 323-329.

LU J C, LI J, LAI J X, et al. Top-down Control of *Parvocalanus crassirostris* on *Phaeocystis globosa* in Coastal Water of Guangxi [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2020, 36(3): 323-329.

全造成威胁。赤潮的发生是上下行控制之间的平衡被打破,浮游植物生物量爆发性增殖的结果<sup>[4]</sup>。因此,研究捕食者的下行控制对揭示棕囊藻赤潮的发生机制具有重要意义。棕囊藻具有复杂的异型生活史,可以在单细胞和囊体之间转换<sup>[5]</sup>。一旦形成囊体,棕囊藻便可以躲避绝大部分捕食者的捕食<sup>[6]</sup>。因此,研究捕食者对棕囊藻的下行调控作用,最优的选择是研究其对单细胞棕囊藻的摄食。对单细胞棕囊藻的摄食调控可能抑制棕囊藻赤潮的形成<sup>[7,8]</sup>。然而,单细胞棕囊藻粒径只有  $3\ \mu\text{m}$  到  $9\ \mu\text{m}$ ,个体微小,一般认为这样微小的个体只能被原生动物利用<sup>[7]</sup>。以往的研究也确实表明桡足类不能高效地摄食单细胞棕囊藻,但是他们的研究多以宽水蚤、纺锤水蚤作为捕食者<sup>[9-11]</sup>,这些桡足类粒径大于强额孔雀水蚤。根据甲壳动物摄食棕囊藻的粒径理论预测,强额孔雀水蚤等更小的小型桡足类也可以单细胞棕囊藻为食<sup>[12]</sup>,而且强额孔雀水蚤高效摄食  $3\ \mu\text{m}$  至  $9\ \mu\text{m}$  浮游植物已被证实<sup>[13-15]</sup>。另外,小型桡足类还大量摄食原生动物,引发营养级联效应,从而调控原生动物对单细胞棕囊藻的摄食<sup>[16,17]</sup>。综上所述,强额孔雀水蚤等小型桡足类的下行控制可能在棕囊藻赤潮的形成中发挥重要的调控作用。由于小型桡足类种类繁多,很难对每一种都进行研究,一般的处理方式是选择其中的优势种进行深入研究。强额孔雀水蚤是近岸海区广布种,其适合的盐度为 3.4 到 55.0,温度为  $5^\circ\text{C}$  到  $33^\circ\text{C}$ <sup>[18]</sup>。可是以往的调查却发现,北部湾近岸强额孔雀水蚤密度的数量级仅为  $10^1$  到  $10^2$ <sup>[19,20]</sup>。这是因为以往在广西近岸的浮游动物调查多采用大孔径浮游生物网进行采样(孔径  $505\ \mu\text{m}$ )。大孔径浮游生物网采样会在数量级上低估小型桡足类的丰度<sup>[21]</sup>。王荣等<sup>[22,23]</sup>调查发现,强额孔雀水蚤在黄海有很高的密度分布,但由于采用大网孔浮游生物网进行采样,导致其密度被低估 2 个数量级。如果广西近岸强额孔雀水蚤的丰度被严重低估,那么其在棕囊藻赤潮形成中的调控作用也可能被忽略。本研究通过野外调查和室内实验,阐明广西近岸桡足类优势种——强额孔雀水蚤对单细胞棕囊藻的下行控制潜力,对揭示广西近岸棕囊藻赤潮发生机制具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查海区及采样方法

于 2017 年到 2019 年在广西近岸 S1 到 S11 站位,以浅水 II 型浮游生物网(孔径  $160\ \mu\text{m}$ )对浮游动

物进行垂直拖网采样(图 1)。将拖网样品小心冲洗到 2 L 样品瓶中,甲醛固定后带回实验室浓缩,于倒置显微镜下对强额孔雀水蚤进行鉴定并计数。强额孔雀水蚤丰度的变化调查每月采样一次,但由于人力物力有限,并非连续逐月采样,而是在 3 年内完成 12 个不同月份的样品采集工作。由于项目的不延续性,有些月份会有 3—4 个站位的缺失。

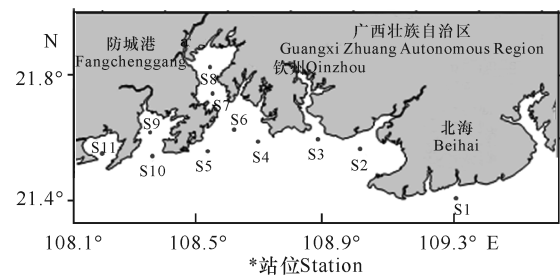


图 1 采样站位

Fig. 1 Sampling stations

### 1.2 不同网具的比较

于 2016 年 6 月、8 月、9 月和 11 月,在 S11 站和 S9 站用浅水 I 型(孔径  $505\ \mu\text{m}$ )和浅水 II 型浮游生物网进行垂直拖网,采集强额孔雀水蚤,比较不同网具采样的区别。为避免连续采样造成的偏差,同一站位不同网具采样时间相差 30 min,且每次采样所使用的网具顺序是随机的,不分先后。样品的固定和分析同 1.1 节所述。

### 1.3 棕囊藻囊体及强额孔雀水蚤的丰度调查

于 2015 年 9 月到 2016 年 3 月在 S7 站和 S8 站,使用手持式采水器对棕囊藻囊体样品进行采样。将表、中、底层采集的水样混匀后倒入白色托盘中,现场计数囊体的个数。采集囊体的同时,以浅水 II 型浮游生物网对强额孔雀水蚤进行垂直拖网采样,并计数其丰度。

### 1.4 摄食实验

于 2018 年 6 月以浅水 II 型浮游生物网在 S8 站位附近垂直拖网,收集浮游动物样品并带回实验室。在解剖镜下分离强额孔雀水蚤成体,然后分别在 16, 20, 24,  $28^\circ\text{C}$  条件下暂养 3 d 以适应环境,暂养时期以球等鞭金藻作为饵料。摄食实验以单细胞棕囊藻作为食物,投喂单细胞棕囊藻前先通过  $10\ \mu\text{m}$  筛绢过滤以去除囊体。解剖镜下挑选健康的强额孔雀水蚤成体进行实验。实验前 24 h 不投喂,在经  $0.22\ \mu\text{m}$  滤膜过滤的自然海水中暂养以排空肠道。摄食实验在 250 mL 烧杯中进行,每个烧杯放养 5 只强额孔雀水蚤成体,培养体积 150 mL,实验时间 24 h,设 4 个

温度梯度(16, 20, 24, 28℃), 每个梯度 5 组平行。实验同时设置不含捕食者组作为对照组, 对实验结果进行校正。摄食率通过食物差减法获得, 按以下公式进行计算:

$$I = \frac{V}{N} \times \frac{\ln C_t - \ln C_{tf}}{t} \times \frac{C_{tf} - C_0}{\ln C_{tf} - \ln C_0},$$

式中,  $I$  表示桡足类的摄食率,  $\text{cells} \cdot \text{ind.}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ;  $V$  表示实验瓶内水体体积,  $\text{mL}$ ;  $N$  表示桡足类的个数,  $\text{ind.}$ ;  $C_0$  表示食物初始浓度,  $\text{cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ;  $C_t$  表示对照组实验结束时食物浓度,  $\text{cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ;  $C_{tf}$  表示实验组实验结束时细胞的浓度,  $\text{cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ;  $t$  表示实验时间,  $\text{h}$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同网具采样获得的强额孔雀水蚤丰度

调查结果表明, 小型网采集获得的强额孔雀水蚤丰度比大型网高出 2 个数量级(表 1)。以小型网进行调查, 发现强额孔雀水蚤丰度数量级在  $10^3$  时候, 大型网调查所获得的丰度只有  $10^1$ 。调查期间, 小型网捕获的强额孔雀水蚤丰度是大型网的 209 倍到 523 倍(表 1)。以往广西近岸浮游动物样品的获取多使用大型网采集(浅水 I 型)。较之小型网(浅水 II 型), 大型网采集严重低估强额孔雀水蚤的丰度。

表 1 大型网和小型网拖网获得的强额孔雀水蚤丰度

Table 1 Abundance of *P. crassirostris* collected from small and big mesh-sized plankton net

月份 Month	丰度 Abundance ( $\text{ind.} \cdot \text{m}^{-3}$ )	
	小型网 Small mesh-sized net	大型网 Big mesh-sized net
6 月 Jun.	4 715 ± 925	9 ± 3
8 月 Aug.	5 237 ± 723	16 ± 5
9 月 Sep.	5 345 ± 516	21 ± 5
11 月 Nov.	9 626 ± 1 028	46 ± 12

### 2.2 广西近岸强额孔雀水蚤的丰度

调查期间, 广西近岸强额孔雀水蚤丰度的最低值出现在 1 月份, 为  $(1\ 005 \pm 886) \text{ ind.} \cdot \text{m}^{-3}$ ; 最高值出现在 2 月份, 为  $(10\ 723 \pm 5\ 168) \text{ ind.} \cdot \text{m}^{-3}$ ; 年平均值为  $(5\ 878 \pm 3\ 373) \text{ ind.} \cdot \text{m}^{-3}$ (图 2)。从折线图看, 从 5 月到 12 月, 水体中强额孔雀水蚤的丰度变化与水温变化趋势类似, 但从 1 月到 4 月则并不完全匹配。统计分析结果表明, 2 月份的强额孔雀水蚤丰度与 7 月、9 月的无显著差异( $P > 0.05$ ), 但 2 月份的水

温显著低于 7 月和 9 月( $P < 0.05$ )。而 1 月和 2 月的水温并无显著差异( $P > 0.05$ ), 但 2 月份的丰度显著高于 1 月( $P < 0.05$ )。

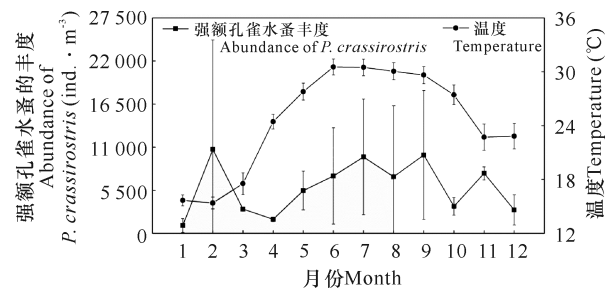


图 2 广西近岸强额孔雀水蚤丰度的月变化

Fig. 2 Monthly variations of *P. crassirostris* abundance in coastal water of Guangxi

### 2.3 强额孔雀水蚤对单细胞棕囊藻的摄食

在 16, 20, 24, 28℃ 条件下, 强额孔雀水蚤对单细胞棕囊藻的摄食率分别为  $(63.53 \pm 27.73) \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ind.} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $(61.55 \pm 44.65) \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ind.} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $(73.92 \pm 4.66) \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ind.} \cdot \text{h}^{-1}$  和  $(68.07 \pm 21.75) \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ind.} \cdot \text{h}^{-1}$ 。虽然从平均值上看, 24℃ 条件下强额孔雀水蚤对单细胞棕囊藻的摄食率最高, 其次是 28℃ 条件下, 但是统计分析结果表明, 不同温度条件下强额孔雀水蚤对单细胞棕囊藻的摄食率并无显著差异( $P > 0.05$ , 图 3)。

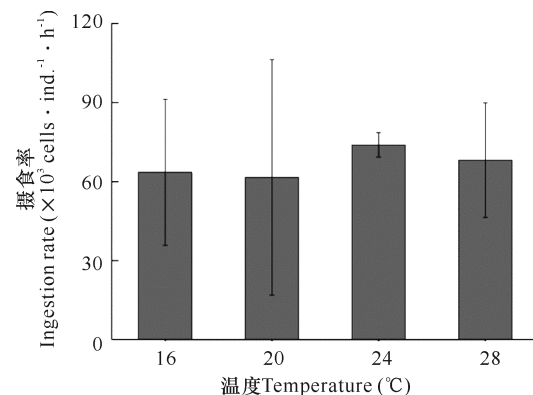


图 3 不同温度条件下强额孔雀水蚤对单细胞棕囊藻的摄食

Fig. 3 Ingestion rate of *P. crassirostris* on solitary cells of *P. globosa* under different temperature

### 2.4 强额孔雀水蚤丰度与棕囊藻囊体密度的关系

棕囊藻赤潮高发时候, 在固定站位加密观测强额孔雀水蚤丰度和棕囊藻囊体密度。结果发现强额孔雀水蚤丰度峰值和棕囊藻囊体密度峰值错峰出现, 棕囊藻囊体密度峰值出现在强额孔雀水蚤丰度的低值区。在强额孔雀水蚤丰度明显降低 1 个多月后, 棕囊藻囊体开始形成。此后, 强额孔雀水蚤丰度继续降低, 而棕囊藻囊体密度继续增加, 并达到峰值。而当



强额孔雀水蚤丰度再次到达峰值时,棕囊藻囊体完全消失(图4)。

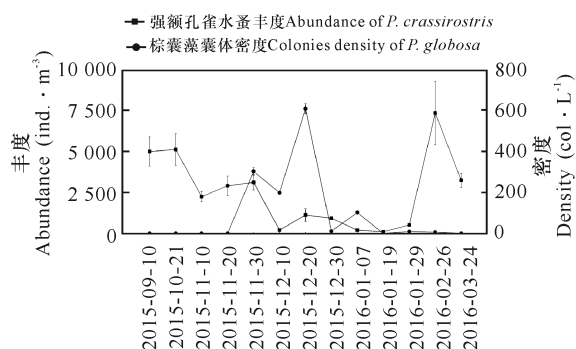


图4 强额孔雀水蚤丰度和棕囊藻囊体密度的变化

Fig. 4 Variations of *P. crassirostris* abundance and colonies density of *P. globosa*

### 3 讨论

#### 3.1 网具对浮游动物采样结果的影响

海洋中型浮游动物(Mesozooplankton)的数量很大一部分由桡足类贡献<sup>[24]</sup>。然而在温带和热带海区的浮游生态系统中,小型桡足类(<1 mm)发挥着更加重要的作用<sup>[25]</sup>。由于网具选择不恰当,小型桡足类的作用常被忽略。有研究报道,如果用网孔大于200  $\mu\text{m}$ 的浮游生物网进行采样,将有92%的小型桡足类在拖网过程中逃逸,从而严重低估小型桡足类的丰度,进而忽略其在海洋生态系统中的作用<sup>[25,26]</sup>。当前,我国近岸浮游动物调查主要有浅水I型(孔径505  $\mu\text{m}$ )和浅水II型(孔径160  $\mu\text{m}$ )这两种浮游生物网。虽然早有学者注意到网具的选择对浮游动物采样的影响,然而广西近岸的大部分海洋调查还是继续采用大网孔的浮游生物网(505  $\mu\text{m}$ )对浮游动物进行调查<sup>[19-20,22,23]</sup>。强额孔雀水蚤成体体长为500—600  $\mu\text{m}$ ,属于小型桡足类<sup>[18]</sup>。王荣等<sup>[22,23]</sup>在黄海的调查也发现,用大型网采样将低估2个数量级的强额孔雀水蚤等中小型桡足类的丰度。本研究的调查也证实,以浅水II型浮游生物网采样所获得的强额孔雀水蚤丰度比浅水I型高2个数量级(表1)。另外,本研究大型网和小型网调查中强额孔雀水蚤的丰度均比王荣等<sup>[22,23]</sup>的调查结果高几倍,这表明广西近岸强额孔雀水蚤的丰度高于黄海。同时,本研究大型网调查所获得的强额孔雀水蚤丰度与其他学者以大型网在广西近岸调查获得的强额孔雀水蚤丰度结果类似,其丰度的数量级仅为 $10^1$ 到 $10^2$ <sup>[19,20]</sup>,这说明以往的调查严重低估了广西近岸强额孔雀水蚤的丰度。由于广西近岸浮游动物主要由小型浮游动物组成<sup>[27]</sup>,为

此,作者呼吁广大海洋工作者,在对广西近岸浮游动物进行调查时应根据调查目的,选择合适的网具。

#### 3.2 强额孔雀水蚤对单细胞棕囊藻的摄食

浮游动物的摄食受到其自身粒径和食物颗粒大小的制约。根据Nejstgaard等<sup>[12]</sup>建立的甲壳动物粒径和棕囊藻摄食关系理论预测,从粒径大小上看,单细胞棕囊藻粒径3—9  $\mu\text{m}$ <sup>[7]</sup>,强额孔雀水蚤是单细胞棕囊藻的最优捕食者。大量的研究也已证明,强额孔雀水蚤可高效摄食3—9  $\mu\text{m}$ 的浮游植物<sup>[13-15]</sup>。本研究也表明,强额孔雀水蚤可高效摄食单细胞棕囊藻,从16°C到28°C,强额孔雀水蚤对单细胞棕囊藻的摄食率从 $(61.55 \pm 44.65) \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ind.} \cdot \text{h}^{-1}$ 到 $(73.92 \pm 4.66) \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ind.} \cdot \text{h}^{-1}$ (图3),与其他研究者报道的强额孔雀水蚤摄食球等鞭金藻、威氏海链藻等大小接近的浮游植物的摄食率相当<sup>[13-15]</sup>。虽然有研究认为,某些棕囊藻株系可产生对捕食者有毒害作用的二甲基硫(DMS)和丙烯酸<sup>[28,29]</sup>,影响捕食者的摄食,但是笔者研究发现,北部湾株系并不会对捕食者的摄食造成影响(结果另文报道)。一般认为单细胞棕囊藻主要被原生动动物摄食,不能被宽水蚤、纺锤水蚤和胸刺水蚤等桡足类大量摄食<sup>[7,9-11]</sup>。本研究结果表明,强额孔雀水蚤对单细胞棕囊藻的摄食率是宽水蚤、纺锤水蚤和胸刺水蚤的3—8倍。鞭毛虫和纤毛虫是海洋中主要的原生动动物,强额孔雀水蚤对单细胞棕囊藻的摄食率是腰鞭毛虫的153倍,是纤毛虫的7倍<sup>[16,17]</sup>。更重要的是,强额孔雀水蚤的寿命远长于原生动动物,对棕囊藻造成持续的摄食压力。另外,强额孔雀水蚤等小型桡足类还是原生动动物的主要捕食者<sup>[16,17,30]</sup>。由于营养级联效应的存在,强额孔雀水蚤等小型桡足类不仅直接摄食单细胞棕囊藻,还控制着原生动动物对单细胞棕囊藻的摄食。由于本研究在摄食实验中没考虑原生动动物的作用,这可能高估强额孔雀水蚤的摄食能力。

#### 3.3 广西近岸强额孔雀水蚤对棕囊藻的下行控制

赤潮的发生是浮游植物上行控制和下行控制之间的平衡被打破,浮游植物生物量迅速累积的结果<sup>[4]</sup>。棕囊藻形成囊体后可逃避绝大多数捕食者的捕食<sup>[1,31]</sup>,因此认识捕食者对单细胞棕囊藻的下行控制对揭示棕囊藻赤潮的发生机理具有重要意义。由于以往的调查网具选择不恰当,广西近岸强额孔雀水蚤丰度被低估(表1)。实际上,强额孔雀水蚤在广西近岸常年存在,且除个别月份外,其密度均大于3 000  $\text{ind.} \cdot \text{m}^{-3}$ ,甚至在某些站位高达50 000  $\text{ind.} \cdot \text{m}^{-3}$

(图2)。强额孔雀水蚤不仅密度大,而且对单细胞棕囊藻的摄食率也高(图3)。单就大小而言,根据摄食粒径理论,从无节幼体到成体,强额孔雀水蚤都是最优的捕食单细胞棕囊藻的甲壳动物<sup>[12]</sup>。虽然强额孔雀水蚤只摄食单细胞棕囊藻而不直接摄食囊体,但是在棕囊藻赤潮高发季节的加密观测发现,棕囊藻的囊体密度最高值与强额孔雀水蚤丰度的高值错峰出现(图4)。在不考虑囊体碎片重新形成囊体的情况下,棕囊藻囊体由单细胞发展而成,因为水体中单细胞密度与囊体密度是相互关联的,所以即便不是直接摄食,强额孔雀水蚤丰度与棕囊藻囊体密度的关系曲线依然与热带捕食者与被捕食者的丰度关系曲线类似。棕囊藻是适应性很强的广布种,在高温季节也可以形成囊体<sup>[32-36]</sup>。但到目前为止,广西近岸的棕囊藻赤潮只在冬春两季发生,这可能与高温季节小型浮游动物的密度更高,从而下行控制加强有关。强额孔雀水蚤是近岸广布种,其适应的温度范围从5℃到33℃<sup>[18]</sup>,调查海区的水温变化不足以对其生长造成影响。而调查发现,虽然5月到12月的强额孔雀水蚤丰度变化趋势与水温的变化趋势类似,但其丰度变化趋势在1月到4月却与水温不匹配(图2)。这一趋势可能是水温对强额孔雀水蚤的食物和捕食者共同影响的结果。相似的,在广西近岸水温范围内,温度的变化并不会对强额孔雀水蚤摄食单细胞棕囊藻产生显著的影响(图3)。综上所述,以强额孔雀水蚤为代表的小型桡足类可能在广西近岸单细胞棕囊藻的下行控制中发挥重要的作用,应在后续的研究中给予重视。

#### 4 结论

由于采样网具选择不恰当,以往的调查低估广西近岸强额孔雀水蚤的丰度。实际上,有大量丰度的强额孔雀水蚤在广西近岸常年存在。鉴于强额孔雀水蚤对单细胞棕囊藻的高效摄食,推测其可能在棕囊藻的下行控制中发挥着重要的作用。建议海洋工作者在研究广西近岸棕囊藻赤潮的发生机理时,应重视以强额孔雀水蚤为代表的小型桡足类的下行控制作用。

#### 参考文献

- [1] PEPPERZAK L, GÄBLER-SCHWARZ S. Current knowledge of the life cycles of *Phaeocystis globosa* and *Phaeocystis antarctica* (Prymnesiophyceae) [J]. Journal of Phycology, 2012, 48(3): 514-517.
- [2] SHEN P, QI Y, WANG Y, et al. *Phaeocystis globosa* Scherffel, a harmful microalga, and its production of dimethylsulfoniopropionate [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2011, 29(4): 869-873.
- [3] LUNDGREN V, LI E G. Grazer induced defence in *Phaeocystis globosa* (Prymnesiophyceae): Influence of different nutrient conditions [J]. Limnology and Oceanography, 2010, 55(5): 1965-1976.
- [4] IRIGOIEN X, FLYNN, K J, HARRIS R P. Phytoplankton blooms: A loophole in microzooplankton grazing impact? [J]. Journal of Plankton Research, 2005, 27(4): 313-321.
- [5] ROUSSEAU V, VAULOT D, CASOTTI R. The life cycle of *Phaeocystis* (Prymnesiophyceae): Evidence and hypotheses [J]. Journal of Marine Systems, 1994, 5(1): 23-39.
- [6] TURNER J T, IANORA A, ESPOSITO F, et al. Zooplankton feeding ecology: Does a diet of *Phaeocystis* support good copepod grazing, survival, egg production and egg hatching success? [J]. Journal of Plankton Research, 2002, 24(11): 1185-1195.
- [7] WEISSE T, SCHEFFELMÖSER U. Growth and grazing loss rates in single-celled *Phaeocystis* sp. (Prymnesiophyceae) [J]. Marine Biology, 1990, 106(1): 153-158.
- [8] TANG K W. Grazing and colony size development in *Phaeocystis globosa* (Prymnesiophyceae): The role of a chemical signal [J]. Journal of Plankton Research, 2003, 25(7): 831-842.
- [9] BRETELER W C M K, KOSKI M. Development and grazing of *Temora longicornis* (Copepoda, Calanoida) nauplii during nutrient limited *Phaeocystis globosa* blooms in mesocosms [J]. Hydrobiologia, 2003, 491: 185-192.
- [10] BRETON E, SAUTOUR B, BRYLINSKI J M. No feeding on *Phaeocystis* sp. as solitary cells (post-bloom period) by the copepod *Temora longicornis* in the coastal waters of the English Channel [J]. Hydrobiologia, 1999, 414: 13-23.
- [11] ESTEP K W, NEJSTGAARD J C, SKJOLDAL H R, et al. Predation by copepods upon natural populations of *Phaeocystis pouchetii* as a function of the physiological state of the prey [J]. Marine Ecology Progress Series, 1990, 67(3): 235-249.
- [12] NEJSTGAARD J C, TANG K W, STEINKE M, et al. Zooplankton grazing on *Phaeocystis*: A quantitative review and future challenges [J]. Biogeochemistry, 2007, 83(1/2/3): 147-172.

- [13] ALAJMI F, ZENG C, JERRY D R. Domestication as a novel approach for improving the cultivation of Calanoid copepods: A case study with *Parvocalanus crassirostris* [J]. Plos One, 2015, 10(7): e0133269.
- [14] ALAJMI F, ZENG C, JERRY D R. Improvement in the reproductive productivity of the tropical calanoid copepod *Parvocalanus crassirostris* through selective breeding [J]. Aquaculture, 2014(420/421): 18-23.
- [15] ALAJMI F, ZENG C. Evaluation of microalgal diets for the intensive cultivation of the tropical calanoid copepod, *Parvocalanus crassirostris* [J]. Aquaculture Research, 2015, 46(5): 1025-1038.
- [16] HANSEN F C, RECKERMAN M, BRETELER W K, et al. *Phaeocystis* blooming enhanced by copepod predation on protozoa - evidence from incubation experiments [J]. Marine Ecology Progress Series, 1993, 102(1/2): 51-57.
- [17] GASPARINI S, DARO M H, ANTAJAN E, et al. Mesozooplankton grazing during the *Phaeocystis globosa* bloom in the southern bight of the North Sea [J]. Journal of Sea Research, 2000, 43(3/4): 345-356.
- [18] VIDJAK O, BOJANIĆ N, GLADAN Ž N, et al. First record of small tropical calanoid copepod *Parvocalanus crassirostris* (Copepoda, Calanoida, Paracalanidae) in the Adriatic Sea [J]. Mediterranean Marine Science, 2016, 17(3): 627-633.
- [19] 郑白雯. 北部湾北部浮游生物生态学研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2014.
- [20] 蓝文陆, 李天深, 刘勳伶, 等. 钦州湾丰水期和枯水期浮游动物群落特征[J]. 海洋学报, 2015, 37(4): 124-133.
- [21] HWANG J S, KUMAR R, DAHMS H U, et al. Mesh size affects abundance estimates of *Oithona* spp. (Copepoda, Cyclopoida) [J]. Crustaceana, 2007, 80(7): 827-837.
- [22] 王荣, 张鸿雁, 王克, 等. 小型桡足类在海洋生态系统中的功能作用[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(5): 453-460.
- [23] 王荣, 王克. 两种浮游生物网捕获性能在现场测试[J]. 水产学报, 2003, 27(Suppl.): 98-102.
- [24] HWANG J S, CHEN Q C, WONG C K. Taxonomic composition, density and biomass of free-living copepods in the coastal waters of southwestern Taiwan [J]. Crustaceana, 2003, 76(2): 193-206.
- [25] TURNER J T. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs [J]. Zoological Studies, 2004, 43(2): 255-266.
- [26] GALLIENNE C P, ROBINS D B. Is *Oithona* the most important copepod in the world's oceans? [J]. Journal of Plankton Research, 2001; 23(12): 1421-1432.
- [27] 陆家昌, 姜发军, 许铭本, 等. 2015年冬季钦州湾浮游动物死体对海洋生态系统的影响[J]. 广西科学, 2016, 23(4): 325-330.
- [28] SCHOEMANN V, BECQUEVORT S, STEFELS J, et al. *Phaeocystis* blooms in the global ocean and their controlling mechanisms: A review [J]. Journal of Sea Research, 2005, 53(1/2): 43-66.
- [29] HANSEN E, ERNSTSEN A, EILERTSEN H C. Isolation and characterisation of a cytotoxic polyunsaturated aldehyde from the marine phytoplankter *Phaeocystis pouchetii* (Hariot) Lagerheim [J]. Toxicology, 2004, 199(2/3): 207-217.
- [30] JAKOBSEN H H, TANG K W. Effect of protozoan grazing on colony formation in *Phaeocystis globosa* (Prymnesiophyceae) and the potential costs and benefits [J]. Aquatic Microbial Ecology, 2002, 27: 261-273.
- [31] ROUSSEAU V, CHRÉTIENNOT-DINET M-J, JAKOBSEN A, et al. The life cycle of *Phaeocystis*: State of knowledge and presumptive role in ecology [J]. Biogeochemistry, 2007, 83(1/2/3): 29-47.
- [32] HUANG C, DONG Q, ZHENG L. Taxonomic and ecological studies on a large scale *Phaeocystis pouchetii* bloom in the southeast coast of China during late 1997 [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1999, 30(6): 581-590.
- [33] VERITY, P G, MEDLIN M K. Observations on colony formation by the cosmopolitan phytoplankton genus *Phaeocystis* [J]. Journal of Marine Systems, 2003, 43(3/4): 153-164.
- [34] GUILLARD R R L, HELLEBUST J A. Growth and the production of extracellular substances by two strains of *Phaeocystis pouchetii* [J]. Journal of Phycology, 2010, 7(4): 330-338.
- [35] HOEPPFNER N, HAAS L W. Electron microscopy of nanoplankton from the north pacific central gyre [J]. Journal of Phycology, 2010, 26(3): 421-439.
- [36] VAULOT D, BIRRIEN J-L, MARIE D, et al. Morphology, ploidy, pigment composition, and genome size of cultured strains of *Phaeocystis* (Prymnesiophyceae) [J]. Journal of Phycology, 1994, 30(6): 1022-1035.

# Top-down Control of *Parvocalanus crassirostris* on *Phaeocystis globosa* in Coastal Water of Guangxi

LU Jiachang<sup>1</sup>, LI Jie<sup>2</sup>, LAI Junxiang<sup>1</sup>, WANG Yinghui<sup>2</sup>, JIANG Fajun<sup>1</sup>, XU Mingben<sup>1</sup>, ZHUANG Junlian<sup>1</sup>

(1. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Beibu Gulf Marine Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. School of Marine Sciences, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China)

**Abstract:** To evaluate the top-down control of *Parvocalanus crassirostris* on *Phaeocystis globosa*, *P. crassirostris* abundance in coastal water of Guangxi was investigated by monthly vertical trawling firstly. Secondly, experiments were also conducted in laboratory to measure the ingestion rate of *P. crassirostris* on solitary cells of *P. globosa*. Finally, the relationship between density of *P. crassirostris* and colonies of *P. globosa* were investigated in a fixed-site during the red tide prone seasons. The results indicated that *P. crassirostris* appeared all year round in the coastal water of Guangxi. In the surveyed sea area, its abundance varied from  $(1\ 005 \pm 886)$  ind.  $\cdot m^{-3}$  to  $(10\ 723 \pm 5\ 168)$  ind.  $\cdot m^{-3}$ . The average value was  $(5\ 878 \pm 3\ 373)$  ind.  $\cdot m^{-3}$ . And the highest colonies density of *P. globosa* appeared when *P. crassirostris* abundance was low. *P. crassirostris* efficiently ingested solitary cells of *P. globosa*. When the water temperature was from 16°C to 28°C, its ingestion rate ranged from  $(61.55 \pm 44.65) \times 10^3$  cells  $\cdot ind. \cdot h^{-1}$  to  $(73.92 \pm 4.66) \times 10^3$  cells  $\cdot ind. \cdot h^{-1}$ . But the statistical analysis results showed that the water temperature had no significant effect on the ingestion rate ( $P > 0.05$ ). Compared with the small mesh-sized plankton net (pore size 160  $\mu m$ ), the big mesh-sized plankton net (pore size 505  $\mu m$ ) was used to sample the *P. crassirostris* in the coast of Guangxi, and the abundance of the *P. crassirostris* was reduced by 2 order of magnitude. Given that high abundance of *P. crassirostris* and its remarkable ingestion rate on solitary cells, we suggest that *P. crassirostris*, as the important predator of *P. globosa* solitary cells, may play an important role in regulating the formation of *P. globosa* red tide. When studying the occurrence mechanism of *P. crassirostris* red tide in the coastal water of Guangxi, it is recommended to consider the top-down control of small copepods represented by *P. crassirostris*.

**Key words:** *Parvocalanus crassirostris*, copepod, *Phaeocystis globosa*, top-down control, Beibu Gulf

责任编辑:米慧芝



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkxyxb/ch>