

球形棕囊藻对五种水生动物的急性毒性作用

杨维东, 商文, 刘洁生

(暨南大学生物工程学系, 广州 510632)

摘要: 利用室内半静水法研究球形棕囊藻培养液、藻细胞悬浮液、去藻细胞滤液、藻细胞内容物、藻细胞碎片以及溶血毒素粗提物对卤虫(*Artemia sinica*)、褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)、蒙古裸腹蚤(*Moina mongolia*)、赤点石斑鱼幼鱼(*Epinephelus akaara*)和南美白对虾(*Penaeus vannamei*)5种水生动物的影响, 并对其致毒途径进行分析。结果表明, 与对照相比, 培养液、藻细胞悬浮液处理卤虫, 其运动速度下降, 培养液、藻细胞悬浮液与毒素粗提物处理轮虫 72 h, 存活率显著降低($P < 0.05$), 卤虫、轮虫消化道中充满藻细胞, 提示摄食球形棕囊藻可能是引起卤虫、轮虫中毒的主要途径。培养液、滤液和藻细胞内容物对赤点石斑鱼幼鱼均有显著的致死作用, 而藻细胞碎片和溶血毒素粗提物对幼鱼的存活无明显影响, 表明球形棕囊藻细胞表面并不存在毒性物质, 球形棕囊藻可能会分泌有毒物质进入水体, 进而影响鱼类的生长。培养液、藻细胞悬浮液、去藻细胞滤液、毒素粗提物处理蒙古裸腹蚤 72 h 虽有死亡, 但存活率与对照无显著差异; 南美白对虾的情况与蒙古裸腹蚤类似, 表明球形棕囊藻及相关组分对蒙古裸腹蚤和对虾的影响较小。这些结果表明, 球形棕囊藻对不同生物的毒害作用不同; 摄食和分泌有毒、有害物质是球形棕囊藻引致生物中毒的主要途径; 除了溶血毒素以外, 球形棕囊藻还可能产生其他鱼毒性物质。

关键词: 球形棕囊藻; 毒性; 卤虫; 褶皱臂尾轮虫; 蒙古裸腹蚤; 赤点石斑鱼幼鱼; 南美白对虾

中图分类号: Q948.86

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2009)01-0068-06

Acute Toxicities of *Phaeocystis globosa* on Five Aquatic Animals

YANG Wei-dong, SHANG Wen, LIU Jie-sheng

(Department of Biotechnology, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: The acute toxicities of *P. globosa* on *Artemia sinica*, *Brachionus plicatilis*, *Moina mongolia*, *Epinephelus akaara* and *Penaeus vannamei* were studied using the method of semi-static water, and the poisoning route were discussed. *P. globosa* had different toxicity on the five aquatic animals. The survival of *B. plicatilis* decreased significantly ($P < 0.05$) in algal culture, re-suspension and hemolytic toxins extraction of *P. globosa* for 72 h, whereas only motility of *A. sinica* was slightly inhibited by algal culture and re-suspension. Many algal cells in the alimentary canal of *A. sinica* and *B. plicatilis*, it suggested *P. globosa* cell could be fed by them. The algal culture, cell-free medium and cell contents had remarkable effects on the survival of larval *E. akaara*, but not cell fragments and hemolytic toxins extract of *P. globosa*, which implied that harmful substances were not attached to the algal cell surface, but inside the algal cell, and that *P. globosa* could excrete other harmful substances than hemolytic toxins into water to imperil surrounding organisms. After exposed in algal culture, re-suspended cells, filtrate and hemolytic toxins from *P. globosa* for 72 h, respectively, motilities of *M. mongolia* were all slightly different from the control though some *M. mongolia* died during the course. The *P. vannamei*, exposed in components from *P. globosa* algal culture for 72 h, were similar to *M. mongolia*. These suggested that *P. globosa* had few negative impacts on the survival of *M. mongolia* and *P. vannamei*. In conclusion, *P. globosa* had different effects on various aquatic animals by being ingested or excreting harmful materials into the water.

Key words: *Phaeocystis globosa*; Toxicity; *Artemia sinica*; *Brachionus plicatilis*; *Moina mongolia*; *Epinephelus akaara*; *Penaeus vannamei*

近年来,球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*)赤潮在我国频繁暴发,给当地水产养殖业造成极大的危害。研究表明^[1],球形棕囊藻赤潮产生的溶血毒素可能是造成鱼类死亡的主要原因。何家苑等^[1]报道,球形棕囊藻溶血毒素为一类糖脂混合物,其溶血特性和结构与小定鞭藻(*Prymnesium parvum*)相似;Hasan等^[2]报道,阿拉伯湾*Phaeocystis* sp.藻株糖脂的主要成分与米氏裸甲藻(*Gymnodinium mikimotoi*)溶血毒素相同,具有溶血活性^[3]。但Smaal等^[4]指出,*Phaeocystis* cf. *globosa*对贻贝(*Mytilus edulis*)的不利作用主要由棕囊藻群体总表面积决定,*Phaeocystis* cf. *globosa*能被贻贝正常消化、吸收,可能并不产生任何毒素。这些表明球形棕囊藻的产毒机制非常复杂。而值得关注的是,有些藻类在产生溶血毒素的同时也分泌一些具有细胞毒性的成分。比如小定鞭藻的次生代谢产物除了能溶解红血球外,还可以使肝细胞等的细胞膜溶解^[5]。除了产生溶血毒素外,球形棕囊藻是否还存在其他途径危害和影响海洋生物的生长呢?目前尚不清楚。本文研究了球形棕囊藻及其各组分对卤虫(*Artemia sinica*)、褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)、蒙古裸腹蚤(*Moina mongolia*)、赤点石斑鱼(*Epinephelus akaara*)幼鱼和南美白对虾(*Penaeus vannamei*)幼体5种生物的急性毒性作用,并就其致毒途径进行了分析,以期为全面认识和明确球形棕囊藻的危害方式和途径提供参考。

1 材料和方法

1.1 藻种和实验生物

球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*Sherffel)由暨南大学赤潮与水环境研究中心提供。

卤虫(*Artemia sinica*)无节幼体为市售休眠卵经28℃、36 μmol m⁻² s⁻¹光照在盐度为33‰的人工海水中孵化得到。孵化期间24 h不间断通气,保持卤虫卵一直处于悬浮状态。褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)、蒙古裸腹蚤(*Moina mongolia*)和赤点石斑鱼(*Epinephelus akaara*)幼鱼取自广东省惠州大亚湾水产试验中心。南美白对虾(*Penaeus vannamei*)幼体取自珠海斗门区白蕉镇新沙渔场。

1.2 球形棕囊藻各组分的制备

取一定量处于平台期后期藻密度为1.58 × 10⁹ cells L⁻¹的球形棕囊藻,0.22 μm微孔滤膜抽滤,得去藻细胞滤液。藻细胞用人工海水稀释至原体

积得藻细胞悬浮液。藻细胞悬浮液用超声波破碎,3 000 × g离心15 min,上清液即为藻细胞内容物。沉淀用人工海水重新悬浮至原体积,作为藻细胞碎片。

溶血毒素粗提物的制备参考彭喜春等^[6]的方法。将处于衰亡期的球形棕囊藻培养液计数后,经过离心、抽滤得到藻细胞,将藻细胞置于氯仿:甲醇:水=13:7:5的混和溶液中进行细胞破碎,破碎功率为800 W,时间为30 min,超声波处理均在冰浴中进行,藻细胞溶液维持4℃以下。破碎后的液体置于分液漏斗中静置。待完全分层后取下层溶液,真空干燥后溶于适量甲醇(甲醇的量为培养液的1/1000),即得到溶血毒素。置于-20℃下贮存备用。

1.3 球形棕囊藻的生物毒性测定

分别取一定量的培养液、藻细胞悬浮液、去藻细胞滤液、藻细胞内容物、藻细胞碎片和溶血毒素粗提物,进行生物毒性测定,设人工海水对照组与甲醇对照组各一。藻细胞悬浮液、滤液、内容物、碎片和溶血毒素粗提物均取自相同体积、相应藻密度的球形棕囊藻培养液。各组设3个平行,实验期间实验室温度恒定在25 ± 1℃。除卤虫实验外,其它实验均36 h更换一次实验液。

卤虫无节幼体的毒性实验:在解剖镜下用吸管将4 d龄,健康、活泼、大小一致的卤虫个体转移至24孔细胞培养板,每孔10尾卤虫。于每孔中加入2 ml上述实验液,解剖镜下观察2 h、8 h、24 h后虫体成活及运动情况,拍照。

褶皱臂尾轮虫的毒性实验:吸取10尾饥饿12 h的轮虫于24孔细胞培养板中,每孔加入2 ml实验液。解剖镜下观察2 h、24 h、48 h、72 h虫体成活情况及运动情况,以探针触碰虫体3次无反应的作为死亡标准,记录虫体死亡数目。

蒙古裸腹蚤的毒性实验:实验前将蒙古裸腹蚤置于洁净的人工海水中饥饿6 h,使之排空肠道。取10只健康、活泼、大小一致的蒙古裸腹蚤置于100 ml实验液中,在解剖镜下观察12 h、24 h、48 h、72 h蚤体成活情况及运动情况,以探针触碰蚤体3次无反应的作为死亡标准,记录蚤体死亡数目。

石斑鱼幼鱼孵化出来后24~36 h,马上用于实验。取10条大小一致的幼鱼置于120 ml实验液中。解剖镜下于12 h、24 h、48 h、72 h观察幼鱼的成活情况及运动情况,以探针触碰幼鱼3次无反应的作为死亡标准,记录幼鱼死亡数目。

虾类毒性实验:南美白对虾用 33‰ 人工海水驯养 4 d, 每日投喂卤虫, 待处于稳定状态不再死亡后用于实验。挑选体长 0.6 ± 0.1 cm、健康、活泼的 8 条个体置于 250 ml 实验液中。以探针触碰幼虾 3 次无反应的作为死亡标准, 观察和记录幼虾的行为及 12、24、48、72 h 虾的存活数。实验期间不再喂食, 及时吸取杯底污物和死虾。

1.4 数据处理与统计方法

各实验组与对照之间的比较, 采用 *t* 检验。

2 结果和分析

2.1 对卤虫的毒性

表 1 列出卤虫暴露在 1.65×10^9 cells L⁻¹ 球形棕囊藻培养液及相关组分中 24 h 后的运动能力和存活情况。可以看出, 虽然各组存活率均为 100%, 但在培养液、藻细胞悬浮液中的卤虫运动速度有所下降。

表 1 球形棕囊藻及相关组分对卤虫存活与运动的影响

Table 1 Effect of *Phaeocystis globosa* compounds on the survival and movement of *Artemia sinica*

	存活率 Survival (%)	运动状态 Movement
培养液 Algal culture	100	慢 Slow
去藻过滤液 Cell-free medium	100	正常 Normal
藻细胞悬浮液 Re-suspended cells	100	慢 Slow
藻细胞内容物 Cell contents	100	正常 Normal
藻细胞碎片 Cell fragments	100	正常 Normal
毒素粗提物 Toxins extraction	100	正常 Normal
甲醇对照 Methanol control	100	正常 Normal
海水对照 Seawater control	100	正常 Normal

从图版 I: A~D 中可以看出, 培养液组卤虫消化道为深褐色, 填充了大量的藻细胞。且卤虫排出的粪便含藻细胞, 说明卤虫吞食了大量的藻细胞。

2.2 对褶皱臂尾轮虫的影响

球形棕囊藻各组分对褶皱臂尾轮虫的影响见表 2。可知, 各实验组轮虫均有死亡, 在培养液、藻细胞悬浮液与毒素粗提物中的轮虫存活率明显下降, 72 h 的存活率与对照有显著差异 ($P < 0.05$)。解剖镜下观察, 培养液与藻细胞悬浮液中的轮虫消化道为棕褐色, 后部出现一个裹有大量藻细胞的囊泡。在培养液、藻细胞悬浮液与去藻过滤液中轮虫往往沉在底部不游动, 只有用针触碰后才开始游动 (图版 I: E~G)。

2.3 对蒙古裸腹蚤的影响

球形棕囊藻各组分对蒙古裸腹蚤的影响如表 3 所示。从表中可以看出, 培养液、去藻过滤液处理蒙古裸腹蚤 72 h 的存活率明显下降, 虫体消化道呈棕褐色 (图版 I: H~J), 说明蒙古裸腹蚤可吞食藻细胞。解剖镜下可见, 蒙古裸腹蚤的运动能力亦无明显变化。

2.4 对赤点石斑鱼幼鱼的影响

球形棕囊藻各组分对赤点石斑鱼的影响如表 4 所示。由表可知, 培养液、细胞内容物、去藻细胞滤液对幼鱼的存活有显著影响, 72 h 后实验组中的幼鱼全部死亡。细胞悬浮液组、毒素粗提物组虽有幼鱼死亡, 但存活率与对照无显著差异 ($P < 0.05$), 提示细胞悬浮液、毒素粗提物和细胞碎片对石斑幼鱼的存活影响不大。解剖镜下可见 (图版 I: K~N), 幼鱼往往呈侧向体位, 触碰反应变慢, 易沉至杯底。死去的幼鱼身体有受到损伤的现象。

表 2 球形棕囊藻及相关组分对褶皱臂尾轮虫生长的影响

Table 2 Effect of *Phaeocystis globosa* compounds on the survival of *Brachionus plicatilis*

	存活率 Survival (%)			
	12 h	24 h	48 h	72 h
培养液 Algal culture	100	100	93.3 ± 5.8	83.3 ± 5.8*
藻细胞悬浮液 Re-suspended cells	100	100	90	83.3 ± 5.8*
去藻过滤液 Cell-free medium	100	100	93.3 ± 5.8	80.0 ± 10.0
藻细胞内容物 Cell contents	100	100	96.6 ± 5.8	90.0 ± 10.0
藻细胞碎片 Cell fragments	100	100	100	93.3 ± 5.8
毒素粗提物 Toxins extraction	100	93.3 ± 5.7	83.3 ± 5.8*	76.6 ± 5.8*
甲醇对照 Methanol control	100	100	100	96.6 ± 5.8
海水对照 Seawater control	100	100	100	100

表 3 球形棕囊藻及相关组分对蒙古裸腹蚤生长的影响

Table 3 Effect of *Phaeocystis globosa* compounds on the survival of *Moina mongolia*

	存活率 Survival (%)			
	12 h	24 h	48 h	72 h
培养液 Algal culture	100	100	100	93.3 ± 5.7
藻细胞悬浮液 Re-suspended cells	100	100	100	96.6 ± 5.7
去藻过滤液 Cell-free medium	100	100	100	93.3 ± 5.7
藻细胞内容物 Cell contents	100	100	100	100
藻细胞碎片 Cell fragments	100	100	100	100
毒素粗提物 Toxins extraction	100	100	100	96.6 ± 5.7
甲醇对照 Methanol control	100	100	100	100
海水对照 Seawater control	100	100	100	100

表 4 球形棕囊藻及其各组分对赤点石斑鱼幼鱼的影响

Table 4 Effect of *Phaeocystis globosa* compounds on the survival of juvenile *Epinephelus akaara*

	存活率 Survival (%)			
	12 h	24 h	48 h	72 h
培养液 Algal culture	76.6 ± 5.8	53.3 ± 20.8*	0*	0*
藻细胞悬浮液 Re-suspended cells	100	93.3 ± 5.8	80.0 ± 20.0	76.6 ± 15.3
去藻过滤液 Cell-free medium	70 ± 10	43.3 ± 5.8*	20.0 ± 20.0	0*
藻细胞内容物 Cell contents	83.3 ± 5.8	66.6 ± 11.6*	16.6 ± 15.3*	0*
藻细胞碎片 Cell fragments	100	100	100	100
毒素粗提物 Toxins extraction	100	100	100	96.6 ± 5.8
甲醇对照 Methanol control	100	100	100	100
海水对照 Seawater control	100	100	100	100

2.5 对南美白对虾幼体的影响

球形棕囊藻培养液及各组分对南美白对虾存活率的影响如表 5 所示。可知,48 h 时,除藻细胞碎片组外,其他实验组的南美白对虾均有死亡;72 h 各实验组均有死亡。实验过程中,实验组幼虾常沉在容器底部,少有在上层活动。虾体包括消化道颜色无明显变化,提示幼虾并无大量吞食藻细胞。

3 讨论

许多研究表明^[1,7,8],球形棕囊藻产生的溶血毒素可能是其引致鱼类大量死亡的原因之一,但球形

表 5 球形棕囊藻及其各组分对南美白对虾幼体的影响

Table 5 Effect of *Phaeocystis globosa* compounds on the survival of juvenile *Penaeus vannamei*

	存活率 Survival (%)			
	12 h	24 h	48 h	72 h
培养液 Algal culture	95.8 ± 7.2	95.8 ± 7.2	91.6 ± 7.2	83.3 ± 7.2
藻细胞悬浮液 Re-suspended cells	100	100	95.8 ± 7.2	95.8 ± 7.2
去藻过滤液 Cell-free medium	91.6 ± 7.2	91.6 ± 7.2	87.5 ± 12.5	87.5 ± 12.5
藻细胞内容物 Cell contents	100	95.8 ± 7.2	87.5 ± 12.5	87.5 ± 12.5
藻细胞碎片 Cell fragments	100	100	100	95.8 ± 7.2
毒素提取物 Toxins extraction	100	100	95.8 ± 7.2	95.8 ± 7.2
甲醇对照 Methanol control	100	100	100	95.8 ± 7.2
海水对照 Seawater control	100	100	100	95.8 ± 7.2

棕囊藻能否通过其他途径引起鱼类中毒,溶血毒素是不是造成水生生物死亡的唯一原因?目前尚不清楚。本文以褶皱臂尾轮虫、蒙古裸腹蚤、赤点石斑鱼幼鱼和南美白对虾幼体 5 种生物为代表,探讨了球形棕囊藻对不同层次水生生物的急性毒性作用,并对其致毒途径进行了分析。

球形棕囊藻及其各组分对不同实验生物的影响不同。对卤虫、蒙古裸腹蚤、南美白对虾等的影响小,对赤点石斑鱼、轮虫的影响大。各实验组培养 72 h 的卤虫无一死亡,仅在培养液、藻细胞悬浮液中的运动速度下降;蒙古裸腹蚤实验各组培养 72 h 以前均无死亡,在培养液、藻细胞悬浮液、去藻细胞滤液、毒素粗提物中 72 h 虽有死亡,但存活率与对照无显著差异。南美白对虾在培养液和去藻过滤液中 12 h 即有死亡,其后各实验组均陆续出现死亡,但与对照均无显著性差异。在培养液、细胞内容物和去藻细胞滤液中 72 h 赤点石斑鱼幼鱼全部死亡;在培养液、藻细胞悬浮液与毒素粗提物中的轮虫存活率与对照有显著差异($P < 0.05$)。这与江天久等^[9]的研究结果相似。他们研究表明,湛江棕囊藻对虾苗有一定的毒性,去除囊泡液后的棕囊藻碎片对虾苗毒性较弱;棕囊藻囊泡液对青石斑鱼有一定毒性^[9]。这些结果说明不同生物对球形棕囊藻的敏感性不同。2005 年 1 月~3 月广东省

湛江港爆发的球形棕囊藻赤潮造成大量星斑裸颊鲷(*Lethrinus nebulosus*)成鱼及鱼苗和部分黄鳍鲷(*Sparus latus*)成鱼的死亡,其它的养殖鱼类却安然无恙^[9]。其他溶血毒素产毒藻类也有类似的情况,其原因目前尚不清楚。Oda 等^[10]发现,*Alexandrium taylori*产生的溶血毒素对兔、豚鼠红细胞高度敏感,但对人、绵羊、牛红细胞却不敏感。Emura^[11]指出,*Heterocapsa circularisquama*产生的溶血毒素对贝类非常敏感,可引致贝的死亡,但对鱼类无明显影响。由于卤虫、轮虫和蒙古裸腹溞均可摄食棕囊藻,因此,认为食性差异并不是造成不同生物对球形棕囊藻敏感性不同的主要原因^[12]。

卤虫和褶皱臂尾轮虫的消化道呈褐色,表明一定条件下它们能吞食藻细胞^[13],且在培养液、藻细胞悬浮液中卤虫运动速度有所下降。轮虫在培养液、藻细胞悬浮液与毒素粗提物中 72 h 存活率显著降低,表明摄食球形棕囊藻可能是引起卤虫、轮虫中毒的主要途径,但溶血毒素是否是造成卤虫和轮虫中毒的主要原因,尚待进一步的研究。

球形棕囊藻培养液、细胞内容物、去藻细胞滤液对赤点石斑鱼幼鱼的存活有显著影响,72 h 后幼鱼全部死亡。由于刚孵化出的前期幼鱼营养方式主要是卵黄性营养,尚未开始摄食外界食物,因此推测,除了通过摄食方式造成生物中毒以外,与其他产毒藻类似,球形棕囊藻还可能通过释放某些化学物质或通过细胞表面某些毒性物质影响其它生物的生长^[14]。由于藻细胞碎片对幼鱼的影响很小,因此认为球形棕囊藻释放出的某些化学物质可能是造成赤点石斑鱼死亡的主要原因。但溶血毒素粗取物对幼鱼的存活影响不大,表明溶血毒素并非球形棕囊藻造成鱼类死亡的唯一途径。Aanesen 等^[15]报道,与球形棕囊藻分类地位很相似的波切棕囊藻(*Phaeocystis pouchetii*)会分泌鱼毒素并排泄至细胞外水体环境中,引起鱼类死亡。球形棕囊藻还可产生大量的次生代谢物,如多糖类、二甲基丙磺酸(DMSP/DMS)等^[8],这些物质都有可能引起水质恶化,从而使去藻滤液具有一定的毒性。球形棕囊藻是否会产生非溶血性鱼毒素,鱼毒素、溶血毒素、多糖类和二甲基丙磺酸等物质对鱼类的致毒作用是否存在协同作用?值得进一步的研究。

综上所述,不同生物对球形棕囊藻的敏感性不同,食性差异并不是造成不同生物对球形棕囊藻敏感性不同的主要原因。摄食球形棕囊藻可能是引

起卤虫、轮虫中毒的主要途径,球形棕囊藻释放出的某些化学物质可能是造成石斑鱼死亡的主要原因,溶血毒素并非球形棕囊藻造成鱼类死亡的唯一途径。

参考文献

- [1] He J W(何家苑), Shi Z X(施之新), Zhang Y H(张银华), et al. Morphological characteristics and toxins of *Phaeocystis* cf. *pouchetii* (Prymnesiophyceae) [J]. *Oceanol Limnol Sin*(海洋与湖泊), 1999, 30(2): 172-179.(in Chinese)
- [2] Al Hasan R H, Ali A M, Radwan S S. Lipids, and their constituent fatty acids, of *Phaeocystis* sp. from the Arabian Gulf [J]. *Mar Biol*, 1990, 105(1): 9-14.
- [3] Parrish C C, Bodenec G, Gentien P. Haemolytic glycolipid from *Gymnodinium* species [J]. *Phytochemistry*, 1998, 47(5): 783-787.
- [4] Smaal A C, Twisk F. Filtration and absorption of *Phaeocystis* cf. *globosa* by the mussel *Mytilus edulis* L. [J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1997, 209(1/2): 33-46.
- [5] Yin Y W(尹伊伟), Wang Z H(王朝晖), Jiang T J(江天久), et al. Toxic effects of red tide toxins on fishes [J]. *Mar Environ Sci*(海洋环境科学), 2000, 19(4): 62-65.(in Chinese)
- [6] Peng X C(彭喜春), Yang W D(杨维东), Liu J S(刘洁生), et al. Extraction of haemolytic substances from alga *Phaeocystis globosa* [J]. *J Trop Subtrop Bot*(热带亚热带植物学报), 2005, 13(1): 25-28.(in Chinese)
- [7] Chen J F(陈菊芳), Xu N(许宁), Jiang T J(江天久), et al. A report of *Phaeocystis globosa* bloom in coastal water of Southeast China [J]. *J Jinan Univ (Nat Sci Med)*(暨南大学学报: 自然科学与医学版), 1999, 20(3): 124-129.(in Chinese)
- [8] Peng X C(彭喜春), Yang W D(杨维东), Liu J S(刘洁生), et al. Secondary metabolites of *Phaeocystis*: A review [J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), 2005, 24(3): 321-326.(in Chinese)
- [9] Jiang T J(江天久), Jiang T(江涛), Zeng M(曾森), et al. Toxicity of red tide alga *Phaeocystis globosa* Scherffel from Zhanjiang against young *Penaeus vannamei* boone and fish fry [J]. *J Trop Subtrop Bot*(热带亚热带植物学报), 2006, 14(6): 487-491.(in Chinese)
- [10] Oda T, Sato Y, Kim D, et al. Hemolytic activity of *Heterocapsa circularisquama* (Dinophyceae) and its possible involvement in shellfish toxicity [J]. *J Phycol*, 2001, 37: 509-516.
- [11] Emura A, Matsuyama Y, Oda T. Evidence for the production of a novel proteinaceous hemolytic exotoxin by dinoflagellate *Alexandrium taylori* [J]. *Harmful Algae*, 2004, 3(1): 29-37.
- [12] Tan Z J(谭志军), Yan T(颜天), Zhou M J(周名江). Current status of studies on the effects of harmful algae on fish [J]. *J Fish Chin*(水产学报), 2002, 26(6): 561-568.(in Chinese)
- [13] Wei W(危蔚), Jiang T J(江天久). Studies on the toxicity of tow strains *Phaeocystis globosa* Scherffel to *Artemia sinica* [J]. *Ecol Sci*(生态科学), 2005, 24(1): 38-41.(in Chinese)
- [14] Yan T(颜天), Zhou M J(周名江), Fu Y(傅荫), et al. The preliminary study on toxicity of *Heterosigma akashiwo* and the

toxicity source [J]. *Oceanol Limnol Sin*(海洋与湖泊), 2003, 34(1): 50-55.(in Chinese)

[15] Aanesen R T, Eilertsen H C, Stabell O B. Light-induced toxic properties of the marine alga *Phaeocystis pouchetii* towards cod larvae [J]. *Aquat Toxicol*, 1998, 40(2/3): 109-121.

图版说明

图版 I

A~D. 卤虫, A: 对照; B: 12 h; C: 24 h; D: 卤虫排出含球形棕囊藻的粪便; E~G. 褶皱臂尾轮虫, E: 对照; F: 48 h; G: 72 h; H~J. 蒙古裸腹蚤, H: 对照; I: 48 h; J: 72 h. K~N. 赤点石斑鱼幼鱼, K: 对照; L: 12 h; M: 去藻过滤液中 48 h; N: 藻液中 48 h。

古裸腹蚤, H: 对照; I: 48 h; J: 72 h; K~N. 赤点石斑鱼幼鱼, K: 对照; L: 12 h; M: 去藻过滤液中 48 h; N: 藻液中 48 h。

Explanation of plate

Plate I

A~D. *Artemia sinica*, A: Control; B: 12 h; C: 24 h; D: Faeces with some *Phaeocystis globosa* cells excreted by *Artemia sinica* after 24 h; E~G. *Brachionus plicatilis*, E: Control; F: 48 h; G: 72 h; H~J. *Moina mongolia*, H: Control; I: 48 h; J: 72 h. K~N. *Epinephelus akaara*, K: Control; L: 12 h; M: 48 h in cell-free medium; N: 48 h in algal culture.

