

珠江口海域双胞旋沟藻赤潮对卤虫幼体、 鱼苗和虾苗的急性毒性

吴 霓, 江 涛, 江天久*, 吕颂辉, 桓清柳

(暨南大学赤潮与海洋生物学研究中心,
水体富营养化与赤潮防治广东普通高校重点实验室,广东 广州 510632)

摘要:为研究 2009 年 10 月下旬在广东珠海海域爆发的双胞旋沟藻赤潮对养殖鱼类及水体中其它生物的影响,实验以卤虫幼体、金鼓鱼苗和凡纳滨对虾苗作为受试生物,在赤潮现场测试双胞旋沟藻对卤虫幼体、鱼苗和虾苗的急性毒性效应。结果显示,24 h 双胞旋沟藻对卤虫幼体的 LC_{50} (半致死浓度)为 9.55×10^4 /mL,藻密度为 2.5×10^3 /mL 的双胞旋沟藻对卤虫幼体的 LT_{50} (半致死时间)为 48.5 h。60 h 内该赤潮水体对鱼苗和虾苗的存活无不利影响,卤虫幼体和金鼓鱼苗均可摄食双胞旋沟藻,卤虫幼体对双胞旋沟藻的摄食率低。研究表明,双胞旋沟藻赤潮水体对卤虫幼体有一定的毒性作用,但在低藻密度条件下,卤虫幼体能以该藻为食并维持其生命,双胞旋沟藻对金鼓鱼苗和凡纳滨对虾苗无急性毒性作用。

关键词:双胞旋沟藻; 卤虫幼体; 金鼓鱼; 凡纳滨对虾; 急性毒性

中图分类号: X 171.5; S 965

文献标志码: A

2009 年 10 月下旬到 11 月中旬,珠江口海域发生了面积达 300 km² 的赤潮,优势种为双胞旋沟藻 (*Cochlodinium geminatum*)。目前,世界范围内对旋沟藻属 (*Cochlodinium*) 赤潮原因报道最多的是多环旋沟藻 (*Cochlodinium polykrikoides*),该藻具有鱼毒性,可产生溶血毒素和活性氧等物质^[1-2],已在世界范围内形成多次赤潮^[3-5],并导致大量野生或养殖鱼类的死亡,给当地水产养殖业造成巨大的经济损失^[6-7]。由旋沟藻引发的赤潮在我国也时有发生^[8]。1990 年 6 月在福建沿海发生的旋沟藻赤潮导致大量海洋生物死亡^[9]。

珠江口海域为我国赤潮频发区,其中在 2006 年 4 和 10 月曾爆发过两次规模较小的双胞旋沟藻赤潮^[10],但此次如此大面积、高密度和长时间的旋沟藻赤潮较为少见。另外,其发生区主要在内伶仃和香洲海域,是珠江口渔民传统的捕捞区和海上观光旅游区,距珠海海产主养殖区桂山岛

较近,因此,此次赤潮发生,引起了珠海市民和相关管理部门的高度关注,急切想了解该赤潮的毒性及影响。实验以卤虫 (*Artemia salina*) 幼体、金鼓鱼 (*Scatophagus argus*) 苗、凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 苗为实验对象,测试该赤潮水体对其的急性毒性,为水产养殖和赤潮灾害应急管理提供依据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验藻于 2009 年 11 月初珠江口海域双胞旋沟藻赤潮爆发期间,从赤潮区采集赤潮水体,1 h 内运至实验室。用 0.1 mL 浮游植物计数框于显微镜下计数赤潮藻细胞密度。

室内条件下[室温(24±2)℃,光照(5+0.5) μmol/(m²·s),连续光照],取 2 g 卤虫幼体卵放入 700 mL 暴气后的天然海水(即非赤潮区海水,盐度为 20, pH 8.0,下同)中适量通气,保持卤虫

收稿日期:2013-03-15 修回日期:2013-05-21

资助项目:国家“九七三”项目(2010CB428702);国家自然科学基金项目(41276091);国家海洋公益专项(201305003-2,201305010-4)

通信作者:江天久,E-mail:tjiangtj@jnu.edu.cn

幼体卵一直处于悬浮状态,孵化 48 h 后取健康的卤虫幼体用于实验。

金鼓鱼苗和凡纳滨对虾苗均从当地养殖场获得,金鼓鱼苗日龄 25 d,体质量(0.81 ± 0.25) g,体长(3.4 ± 0.8) cm,虾苗体质量(0.08 ± 0.03) g,体长(1.2 ± 0.3) cm。上述材料移至实验室驯养 1 d 后用于实验。

1.2 急性毒性实验

旋沟藻对卤虫幼体的毒性实验 用 0.45 μm 滤膜过滤过的天然海水将双胞旋沟藻密度为 $2.5 \times 10^3/\text{mL}$ 的赤潮水体(盐度为 18.5, pH 7.8,下同)稀释成 5 个浓度梯度,即 2.5×10^3 、 2.5×10^2 、 1.67×10^2 、 1.25×10^2 和 $1.0 \times 10^2/\text{mL}$,取 24 孔板,每孔注入 2 mL 上述赤潮海水,每个浓度 3 个平行,随机放入 10 只健康的卤虫幼体幼虫,以同体积过滤过的天然海水作对照,置于室温(24 ± 2) $^{\circ}\text{C}$, ($5 + 0.5$) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下持续光照,48 h 内每 6 小时用解剖镜观察每孔中卤虫幼体的死亡情况。以解剖针触动卤虫幼体 5 s,卤虫幼体触角不动为死亡标准,用浓度对数—机率单位法计算半致死浓度^[11]。

当对照组卤虫幼体出现偶然性死亡时,各浓度组的死亡率按公式(1)进行校正,以扣除卤虫幼体因为饥饿,体质不健壮或互相残杀而死亡对实验造成的误差。

$$P = (P' - C)/(1 - C) \quad (1)$$

式中, P' 为观察死亡率, C 为对照组死亡率, P 为校正后的死亡率。

旋沟藻对金鼓鱼苗和凡纳滨对虾苗的急性毒性实验 用天然海水将双胞旋沟藻密度为 $9.3 \times 10^3/\text{mL}$ 赤潮海水稀释成 5 个浓度梯度,即 9.3×10^3 、 6.98×10^3 、 4.65×10^3 、 2.33×10^3 和 $9.3 \times 10^2/\text{mL}$,取 400 mL 上述海水于容积为 500 mL 的玻璃烧杯中,每浓度 3 个平行,每个烧杯中随机放入 5 条健康的鱼苗,以同体积天然海水为对照,置于室温($24 + 2$) $^{\circ}\text{C}$,持续光照($5 + 0.5$) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下 60 h 内每 6 小时记录鱼苗的死亡情况。

用天然海水将双胞旋沟藻密度为 $9.3 \times 10^3/\text{mL}$ 的赤潮海水稀释成 3 个浓度,即 9.3×10^3 、 4.65×10^3 和 $2.33 \times 10^3/\text{mL}$ 。除每个烧杯中随机放入健康的 5 只虾苗外,其他同鱼苗毒性实验,60 h 内每 6 小时记录虾苗的死亡情况。

1.3 卤虫幼体摄食率实验

用过滤过的天然海水将双胞旋沟藻密度为 $2.5 \times 10^3/\text{mL}$ 的赤潮水体稀释成 3 个浓度组: 5.6×10^2 、 2.8×10^2 和 $1.8 \times 10^2/\text{mL}$,选用 12 孔板,每个浓度 3 个平行,每孔注入 4 mL 赤潮海水,分别随机放入 10 只健康的卤虫幼体,对照组不加卤虫幼体,置于室温($24 + 2$) $^{\circ}\text{C}$,持续光照($5 + 0.5$) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下 24 h 内每 6 h 记录每孔藻密度。摄食率用 Frost^[12] 公式(2)计算:

$$I = \frac{V}{N \times t} (\text{Ln}C_{ck} - \text{Ln}C_{cf}) \frac{C_{cf} - C_0}{\text{Ln}C_{cf} - \text{Ln}C_0} \quad (2)$$

式中, I 为摄食率(/h), N 为卤虫幼体个数(个), V 为饵料溶液体积(mL), C_{ck} 为对照组浓度(/mL), C_{cf} 为饵料组浓度(/mL), C_0 为饵料组初始浓度(/mL), t 为摄食时间(h)。

2 结果

2.1 双胞旋沟藻对卤虫幼体的毒性

6 h 内,各个藻密度的双胞旋沟藻对卤虫幼体的存活没有影响(表 1),但在 12 h 内,最高藻密度($2.5 \times 10^3/\text{mL}$)实验组中的卤虫幼体出现死亡,其死亡率为 6.7%,18 h 后死亡率上升到 10%,而其它各组死亡率在 18 h 内均为 0。24 h 内,除对照组和最低藻密度($1.0 \times 10^2/\text{mL}$)实验组外,其他各藻密度组中的卤虫幼体都出现了死亡。30 h 内,对照组中卤虫幼体也出现死亡,死亡率为 3.3%。此后,随暴露时间的延长,各实验组均出现了卤虫幼体的死亡率逐渐增加的现象。另外,死亡率也随藻密度的升高而升高。48 h 内最高藻密度组($2.5 \times 10^3/\text{mL}$)中的卤虫幼体死亡率最高,为 44%,表明双胞旋沟藻对卤虫幼体有毒性作用。在 30 和 48 h 内,最低藻密度($1.0 \times 10^2/\text{mL}$)实验组中卤虫幼体的死亡率小于相应对照组的死亡率,按公式(2)计算为负值(表 1),表明低密度的双胞旋沟藻可以维持卤虫幼体的生命。

不同暴露时间下死亡机率随藻密度对数变化的关系如表 2 所示。其中,暴露时间为 24 h 时,死亡机率(y)与藻密度对数(x)显著相关,其线性回归方程为 $y = 0.5243x + 2.3886$ ($R^2 = 0.9687$, $P < 0.05$)。通过回归方程得出双胞旋沟藻对卤虫幼体 24 h 的半致死浓度为 $9.55 \times 10^4/\text{mL}$ 。其它各时间段内,卤虫幼体死亡机率与藻密度对数

之间相关性均不显著($P > 0.05$)。

从死亡机率与暴露时间的关系来看,除藻密度为 1.0×10^2 /mL 的实验组卤虫幼体死亡机率与藻密度无相关性外,藻密度为 2.5×10^3 、 1.67×10^2 和 1.25×10^2 /mL 3 个实验组中卤虫幼体的死亡机率与其暴露时间均呈极显著相关($P < 0.01$)。藻密度为 2.5×10^2 /mL 的实验组中卤虫

幼体的死亡机率与暴露时间也显著相关($P < 0.05$)。按照死亡机率(y)与暴露时间(x)的线性回归方程计算得出各浓度组旋沟藻对卤虫幼体相应的 LT_{50} (表3)。随着藻密度的降低, LT_{50} 逐渐增大,最高藻密度组(2.5×10^3 /mL)中双胞旋沟藻对卤虫幼体的半致死时间为 48.5 h。

表1 暴露于不同藻密度的双胞旋沟藻中 48 h 内卤虫幼体的死亡率(DR)和死亡机率(DP)

Tab. 1 Death rate and death probit of *A. salina* larvae exposed to different cell densities of *C. geminatum* within 48 h

CD	1.0×10^2		1.25×10^2		1.67×10^2		2.5×10^2		2.5×10^3		对照	
	/mL		/mL		/mL		/mL		/mL		control	
ET	DR	DP	DR	DP	DR	DP	DR	DP	DR	DP	DR	DP
6 h	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
12 h	0	-	0	-	0	-	0	-	6.7	3.49	0	-
18 h	0	-	0	-	0	-	0	-	10	3.72	0	-
24 h	0	-	6.7	3.49	6.7	3.49	10	3.72	20	4.16	0	-
30 h	-3.4	-	6.9	3.5	10.3	3.73	17.3	4.06	31	4.5	3.3	3.16
36 h	3.5	3.19	10.3	3.73	13.9	3.92	20.7	4.18	34.5	4.6	3.3	3.16
42 h	3.5	3.19	13.9	3.92	17.3	4.06	20.7	4.18	38	4.69	3.3	3.16
48 h	-3.7	-	14.8	3.95	22.2	4.24	29.7	4.47	44	4.85	10	3.72

注:CD.藻密度;ET.暴露时间;DR.死亡率;DP.死亡机率。

Notes:CD. cell density(/mL);ET. exposure time(h);DR. death rate(%);DP. death probit.

表2 不同暴露时间下双胞旋沟藻对卤虫幼体毒性效应的回归参数

Tab. 2 Regression parameter of toxic effect of different cell density of *C. geminatum* against *A. salina* larvae in different exposure times

暴露时间/h exposure time	毒性回归方程 toxicity regression equation	半致死浓度 LC_{50} /(/mL) median lethal concentration	R^2	P
6	$y = 0$	-	-	-
12	$y = 3.49$	-	-	-
18	$y = 3.72$	-	-	-
24	$y = 0.5243x + 2.3886$	9.55×10^4	0.9687*	0.016
30	$y = 0.6882x + 2.2064$	-	0.8834	0.06
36	$y = 0.8038x + 1.9755$	-	0.7542	0.057
42	$y = 0.8021x + 2.0638$	-	0.7009	0.077
48	$y = 0.593x + 2.8772$	-	0.8557	0.075

注:*.卤虫幼体死亡机率与双胞旋沟藻藻密度线性相关显著。

Notes:*. Death probit of *A. salina* larvae has a linear correlation with cell density of *C. geminatum*.

表3 不同藻密度的双胞旋沟藻对卤虫幼体的半致死时间

Tab. 3 LT_{50} of different cell densities of *C. geminatum* against *A. salina* larvae

藻密度/(/mL) cell density	毒性回归方程 toxicity regression equation	半致死时间 LT_{50} /h median lethal concentration	R^2	P
2.5×10^3	$y = 0.0385x + 3.1336$	48.5	0.9341**	<0.01
2.5×10^2	$y = 0.027x + 3.15$	68.5	0.8948*	<0.05
1.67×10^2	$y = 0.0305x + 2.79$	72.5	0.9912**	<0.01
1.25×10^2	$y = 0.0253x + 2.824$	86.0	0.9096**	<0.01
1.0×10^2	$y = 3.19$	-	-	-

注:*.卤虫幼体死亡机率与暴露时间线性相关显著;** . 卤虫幼体死亡率与暴露时间线性相关极显著。

Notes:*. Death probit of *A. salina* larvae has a linear correlation with exposure time, **. Death rate of *A. salina* larvae has a significant linear correlation with exposure time.

2.2 卤虫幼体对旋沟藻的摄食率

卤虫幼体能以双胞旋沟藻为食,但摄食率低,

最高摄食率仅为 13.5/h。各浓度组中的摄食率均随时间的延长呈现逐渐降低的趋势(表 4)。

表 4 卤虫幼体对双胞旋沟藻的摄食率
Tab.4 Feeding rate of *A. salina* larvae on *C. geminatum*

藻密度/(/mL) cell density	摄食率/(/h) feeding rate			
	6 h	12 h	18 h	24 h
CD = 5.6×10^2	13.5 ± 2.7	6.5 ± 1.4	5.0 ± 0.9	3.3 ± 0.4
CD = 2.8×10^2	12 ± 1.1	7.1 ± 0.7	5.4 ± 1.4	3.9 ± 0.8
CD = 1.8×10^2	7.8 ± 1.8	5.1 ± 0.5	3.6 ± 0.7	2.6 ± 0.4

2.3 双胞旋沟藻对金鼓鱼苗和凡纳滨对虾苗的毒性

双胞旋沟藻在 60 h 内对金鼓鱼苗和凡纳滨对虾苗的存活无不利影响。在 36 h 内,各实验组中鱼苗和虾苗均未出现死亡,但在 30 ~ 36 h,藻密度为 4.65×10^3 /mL 的实验组和 36 ~ 42 h, 2.33×10^3 /mL 的实验组中分别出现鱼苗和虾苗各死亡 1 只,系随机死亡。实验中还发现,与对照组相比,金鼓鱼苗毒性实验组中的赤潮海水随着时间的延长而逐渐变得澄清,藻体碎屑大部分消失,说明鱼苗摄食了大量旋沟藻,这进一步证明了赤潮海水对鱼苗无急性毒性的结论。

3 讨论

珠江口双胞旋沟藻赤潮水体对卤虫幼体急性毒性实验结果显示,双胞旋沟藻对卤虫幼体有致死作用。各暴露时间段内,卤虫幼体的死亡率随着藻密度的增大而增加,这与众多有毒有害藻对海洋动物的急性毒性研究结果相似^[13-14]。双胞旋沟藻对卤虫幼体 24 h 的 LC_{50} 为 9.55×10^4 /mL,高于卵圆卡盾藻(*Chattonella ovata*)^[15]和海洋卡盾藻(*Chattonella marina*)^[16]对同龄卤虫幼体 24 h 的 LC_{50} ,说明其毒性低于以上两种藻。除藻密度为 1.0×10^2 /mL 的实验组外,其它各组死亡率也随暴露时间的延长而增加,这与众多对有毒有害藻对海洋动物的急性毒性研究结果也相似^[13-14]。不同的是在低藻密度(1.0×10^2 /mL)的实验组中,卤虫幼体的死亡机率与暴露时间无相关性,表明在低藻密度下双胞旋沟藻对卤虫幼体的存活没有影响。从卤虫幼体对双胞旋沟藻的摄食情况看,卤虫幼体能以该藻为食(表 4)。另外,随着时间的延长,到 48 h 时,该藻密度下卤虫幼体的死亡率小于相应对照组的死亡率,说明在毒性很弱的低藻密度下,卤虫幼体能以该藻为食

维持生命从而避免因饥饿而死亡,双胞旋沟藻对卤虫幼体的毒性作用可能不是因卤虫幼体摄食了双胞旋沟藻而产生了毒害作用。卤虫幼体为滤食性浮游动物,能摄食 50 μm 以下的微粒,双胞旋沟藻细胞长宽为 30 ~ 40 μm ,在卤虫幼体的滤食范围内,而卤虫幼体对双胞旋沟藻的摄食率却很低(表 4),滤食性浮游动物避食或少食有毒藻类^[17],但本实验结果表明,在低藻密度下双胞旋沟藻又能维持卤虫幼体的生命,这可能因为双胞旋沟藻多两两结成成对的群体而超过了卤虫幼体的滤食范围有关。双胞旋沟藻对卤虫幼体的 LT_{50} 随着藻密度的增加逐渐减少,暴露在 2.5×10^3 /mL 的藻密度下其 LT_{50} 仅为 48.5 h(表 3),另外,24 h 双胞旋沟藻对卤虫幼体的 LC_{50} 为 9.55×10^4 /mL,双胞旋沟藻赤潮爆发期间的最高藻密度可以达到 10^4 /mL,说明在高藻密度区域内该赤潮藻可能会导致大量浮游动物的死亡。浮游动物在海洋食物链中有着重要的意义,不排除高藻密度区的浮游动物受到危害后,可能会对以浮游动物为食的鱼类等其他海洋生物造成间接危害,从而对该海域的生态系统产生负面影响。

双胞旋沟藻赤潮水体对鱼苗和虾苗无急性毒性,这与赤潮现场未发现大量海洋动物死亡的现象相符。有毒物质对生物体的毒害作用与生物个体大小、生理结构、代谢途径和摄食方式等有关,不同生物体对有毒藻的反应差异较大^[18-20]。卤虫幼体为浮游动物,个体小,生理结构简单,容易受到有害物质的侵害。另外,处于高密度双胞旋沟藻中的卤虫幼体被覆藻细胞,活动受到限制,有时几只卤虫幼体相互缠绕,运动能力明显下降,藻密度越高此现象越明显,在较低浓度组和对照组中均未发现此现象^[21-23]。因此,高密度下双胞旋沟藻对卤虫幼体存活的影响可能是物理和化学物质的双重作用,但其具体的危害方式尚需进一步研究。

目前,世界范围类对双胞旋沟藻的报道较少,对其同属的多环旋沟藻对鱼类危害的报道较多,多环旋沟藻赤潮海域常伴随着大量鱼类的死亡^[2-3]。据报道,2006年美国皮科尼克河口和辛纳科克湾爆发的旋沟藻赤潮,当其藻密度大于 $5 \times 10^4/\text{mL}$ 时,羊头鱼(*Cyprinodon variegates*)苗、条带底鳉(*Fundulus majalis*)、银汉鱼(*Menidia menidia*)在24 h内全部死亡,80%的成年侧边底鳉(*Fundulus heteroclitus*)死亡^[6]。Tang等^[24]用实验室培养的纯种多环旋沟藻对羊头鱼苗进行毒性实验,当其藻密度达到 $3.3 \times 10^2/\text{mL}$ 时,1 h内羊头鱼苗全部死亡。与以往报道的多环旋沟藻相比,本次珠江口赤潮的优势种为双胞旋沟藻,其赤潮水体在60 h内却对鱼苗和虾苗的存活无影响,虽然同为旋沟藻属,但有毒藻会因种、株系或地域的差异而产毒不同,从而对生物的毒害作用不同^[18,25]。另外,赤潮爆发后常常会造成水体缺氧,但本实验的鱼苗虾苗急性毒性实验仅在500 mL的玻璃烧杯中进行,不能完全模拟海洋环境,因此不能排除高密度藻海域会造成水体缺氧而对鱼类或其它海洋生物产生负面影响。

参考文献:

- [1] Dorantes-Aranda J J, García-de la Parra L M, Alonso-Rodríguez R, et al. Hemolytic activity and fatty acids composition in the ichthyotoxic dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* isolated from Bahía de La Paz, Gulf of California[J]. Marine Pollution Bulletin, 2009, 58(9): 1401 - 1405.
- [2] Kim C S, Lee S G, Lee C K, et al. Reactive oxygen species as causative agents in the ichthyotoxicity of the red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* [J]. Journal of Plankton Research, 1999, 21(11): 2105 - 2115.
- [3] Whyte J N C, Haigh N, Ginther N G, et al. First record of blooms of *Cochlodinium* sp. (Gymnodiniales, Dinophyceae) causing mortality to aquacultured salmon on the west coast of Canada [J]. Phycologia, 2001, 40(3): 298 - 304.
- [4] Gárate-Lizárraga I, López-Cortés D J, Bustillos-Guzmán J J, et al. Blooms of *Cochlodinium polykrikoides* (Gymnodiniaceae) in the Gulf of California, Mexico[J]. Revista de Biología Tropical, 2004, 52(suppl. 1): 51 - 58.
- [5] Curtiss C C, Langlois G W, Busse L B, et al. The emergence of *Cochlodinium* along the California Coast (USA) [J]. Harmful Algae, 2008, 7(3): 337 - 346.
- [6] Gobler C J, Berry D L, Anderson O R, et al. Characterization, dynamics, and ecological impacts of harmful *Cochlodinium polykrikoides* blooms on eastern Long Island, NY, USA [J]. Harmful Algae, 2008, 7(3): 293 - 307.
- [7] Kim H G. Recent harmful algal blooms and mitigation strategies in Korea [J]. Ocean Research, 1997, 19(2): 185 - 192.
- [8] 王朝晖, 林朗聪, 康伟, 等. 有毒有害赤潮藻类旋沟藻(*Cochlodinium* Schütt)研究进展[J]. 暨南大学学报: 自然科学与医学版, 2011, 32(1): 109 - 114.
- [9] Du Q, Huang Y, Wang X. Toxic dinoflagellate red tide by a *Cochlodinium* sp. along the coast of Fujian, China [C] // Smayda T J, Shimizu Y. Toxic phytoplankton blooms in the sea. New York: Elsevier, 1993: 235 - 238.
- [10] 欧林坚, 张玉宇, 李扬, 等. 广东珠海双胞旋沟藻 *Cochlodinium geminatum* 赤潮事件分析[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(1): 57 - 61.
- [11] 周永欣, 章宗涉. 水生生物毒理实验方法[M]. 北京: 农业出版社, 1989.
- [12] Frost B W. Effects of size and concentration of food particles on the feeding behavior of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus* [J]. Limnology and Oceanography, 1972, 17(6): 805 - 815.
- [13] Tang Y Z, Gobler C J. *Cochlodinium polykrikoides* blooms and clonal isolates from the northwest Atlantic coast cause rapid mortality in larvae of multiple bivalve species [J]. Marine Biology, 2009, 156(12): 2601 - 2611.
- [14] 危蔚, 江天久. 有害赤潮生物球形棕囊藻对卤虫的毒性研究[J]. 生态科学, 2005, 24(1): 38 - 41.
- [15] 江涛, 滕德强, 钟艳, 等. 卵圆卡盾藻对卤虫的急性毒性效应[J]. 海洋环境科学, 2012, 31(3): 329 - 332.
- [16] 徐艳红, 江涛, 沈萍萍, 等. 海洋卡盾藻对卤虫的急性毒性效应[J]. 暨南大学学报: 自然科学与医学版, 2012, 33(5): 510 - 515.
- [17] Teegarden G J. Copepod grazing selection and particle discrimination on the basis of PSP toxin content [J]. Marine Ecology Progress Series, 1999, 181: 163 - 176.
- [18] 江天久, 江涛, 曾森, 等. 湛江棕囊藻对南美白对虾虾苗和多种鱼苗的毒性研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2006, 14(6): 487 - 491.
- [19] 李兰涛, 叶健欣, 叶宁, 等. 利玛原甲藻对湛江港多

- 种鱼虾贝的毒性研究[J]. 水产科学, 2011, 30(9): 547 - 550.
- [20] Turner J T, Tester P A. Toxic marine phytoplankton, zooplankton grazers, and pelagic food webs [J]. *Limnology and Oceanography*, 1997, 42 (5): 1203 - 1214.
- [21] 颜天, 张艺, 韩刚, 等. 东海大规模赤潮危害影响的实验研究——对黑褐新糠虾和卤虫的毒性效应[J]. 海洋科学集刊, 2007, (48): 166 - 175.
- [22] 孙科, 颜天, 周名江, 等. 米氏凯伦藻对褶皱臂尾轮虫, 卤虫和黑褐新糠虾存活的影响[J]. 海洋科学, 2010, 34(9): 76 - 81.
- [23] 吴振兴, 邹迎麟, 朱明远, 等. 有毒亚历山大藻对卤虫存活率和摄食率的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(12): 3942 - 3947.
- [24] Tang Y Z, Gobler C J. Characterization of the toxicity of *Cochlodinium polykrikoides* isolates from Northeast US estuaries to finfish and shellfish [J]. *Harmful Algae*, 2009, 8(3): 454 - 462.
- [25] 张世羊, 成水平, 贺锋, 等. 两种不同株铜绿微囊藻培养液对大型溞的毒性效应研究[J]. 水生生物学报, 2008, 32(5): 637 - 642.

Acute toxicity of *Cochlodinium geminatum* bloom waters from Pearl River Estuary on larvae of brine shrimp, fish and shrimp

WU Ni, JIANG Tao, JIANG Tianjiu*, LV Songhui, HUAN Qingliu

(Research Center for Harmful Algae Blooms and Marine Biology, Key Laboratory of Eutrophication and Red Tide Prevention of Guangdong Higher Education Institutes, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: Dinoflagellate genus *Cochlodinium* Schütt has been documented to form blooms along the coastlines of many countries and caused mass mortalities of fish or shellfish. From October to November, 2009, harmful algal blooms (HABs) caused by dinoflagellate *Cochlodinium geminatum* broke out in the coastal waters in Zhuhai, Guangdong. The bloom covers more than 300 km². In order to understand the toxicity of the bloom water, and provide some basis to the algae bloom management and further study of this species, acute toxicity of the bloom water against larvae of zooplankton *Artemia salina*, fish *Scatophagus argus* and shrimp *Penaeus vannamei* was investigated under room conditions. Moreover, feeding rate of *A. salina* on *C. geminatum* was also investigated in this paper. The results showed that LC₅₀ (Median Lethal Concentration) of *C. geminatum* against *A. salina* larvae was 9.55×10^4 /mL within 24 h. LT₅₀ of *C. geminatum* against *A. salina* larvae decreased with the increasing cell density. LT₅₀ of *C. geminatum* with cell density of 2.5×10^3 /mL against *A. salina* larvae was 48.5 h. No adverse effects of *C. geminatum* on the survival of fish and shrimp larvae was observed within 60 h. On the other hand, it was found that both *A. salina* and *S. argus* larvae could feed on *C. geminatum*. But the feeding rate of *A. salina* larvae was low. Overall, the bloom water of *C. geminatum* caused an impact on the survival of *A. salina*. *C. geminatum* with high cell density could cause mass mortality of *A. salina* larvae. However, *A. salina* could live on low cell densities of *C. geminatum*. Causes of the death of *A. salina* larvae may not be due to the ingestion of *C. geminatum*. *C. geminatum* caused acute toxicity neither against the *S. argus* larvae nor against the *P. vannamei* larvae.

Key words: *Cochlodinium geminatum*; *Artemia salina*; *Scatophagus argus*; *Litopenaeus vannamei*; acute toxicity

Corresponding author: JIANG Tianjiu. E-mail: tjiangtj@jnu.edu.cn