

# 碳酸氢铵对龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*) 污损生物多棘麦秆虫(*Caprella acanthogaster*) 的防除效果\*

魏龔伟<sup>1,2</sup> 张继红<sup>2</sup> 吴文广<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306;

2. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 山东省渔业资源与生态环境重点实验室  
中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

**摘要** 2012 年夏季在爱莲湾,对采用碳酸氢铵防除养殖龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*)上的污损生物多棘麦秆虫(*Caprella acanthogaster*)的效果进行了研究,探讨了碳酸氢铵浓度及处理时间对多棘麦秆虫脱落率和死亡率的影响。实验的 3 个处理时间分别为 5、10、15 min,碳酸氢铵浓度分别为 0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 g/L。结果表明,碳酸氢铵浓度、处理时间对多棘麦秆虫脱落率或死亡率均有显著影响( $P < 0.05$ )。随着浓度的升高、处理时间的延长,多棘麦秆虫脱落率及死亡率都呈逐渐增加的趋势。多棘麦秆虫脱落率( $D$ )或死亡率( $M$ )与浓度( $C$ )之间的关系均符合 S 型曲线模型  $\ln D = a + (b/C)$  或  $\ln M = c + (d/C)$ 。在 5、10、15 min 时,碳酸氢铵对麦秆虫的致死浓度分别为 7.36、6.17、3.68 g/L,对应的非离子氨浓度分别为 37.72、21.32、14.25 mg/L。

**关键词** 多棘麦秆虫;防除效果;碳酸氢铵;龙须菜

中图分类号 S946 文献标识码 A 文章编号 1000-7075(2014)04-0097-06

在海洋水产养殖过程中,污损生物不仅会附着于网箱、笼具、围网等水上设施,缩短其使用寿命,而且会直接附着或栖居在养殖生物表面,降低水产品的产量和品质(Ross *et al*, 2002; 严涛等, 2008)。目前,我国对污损生物的防除方法主要是利用高压水枪冲洗网衣(黄宗国等, 1984)、曝晒网箱网具(吕振明, 2002)、用化学涂料等涂抹在水上设施表面(Evans, 1999; Rittschof *et al*, 2003; Shi *et al*, 2006; 林秀雁等, 2008; 闫雪峰等, 2013)。然而传统的防除方法,在一定程度上,可以减少污损生物的附着,但对直接附着或栖居在养殖生物表面的污损生物防除效果并不明显。寻找高效的可直接防除附着或栖居在养殖生物

表面污损生物的防污剂,是目前亟待解决的主要问题。

多棘麦秆虫(*Caprella acanthogaster*),隶属节肢动物门(Arthropoda)、甲壳纲(Crustacea)、端足目(Amphipoda)(黄宗国, 2008),常栖居于浅海的海藻上,以海藻为食,是一种小型污损生物。近年来,在龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*)的养殖过程中发现麦秆虫大量栖居在龙须菜枝条上,严重影响龙须菜正常生长。在龙须菜养殖区,龙须菜的枝条成为多棘麦秆虫栖居的场所,多棘麦秆虫不仅可以直接摄食龙须菜,而且,经咬噬的龙须菜因出现伤口,更容易在风浪流的作用下而脱落,给龙须菜的养殖带来极大的影响。因此,有效的控制多棘麦秆虫,毒杀或者阻止多棘麦

\*国家“十二五”支撑计划课题(2011BAD13B06)和国家自然科学基金课题(41076111; 41276172)共同资助。魏龔伟, E-mail: tvrwfnh521@126.com,

通讯作者: 张继红, 研究员, E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2013-10-28, 收修改稿日期: 2013-11-27

秆虫在龙须菜上栖居,是防治多棘麦秆虫对龙须菜危害的重要措施。

关于氨氮的毒性研究,目前多聚焦于氨氮及非离子氨对养殖生物的危害作用(王娟等,2007;朱大世等,2010;王芸等,2013),而利用其毒性作用进行污损生物防除的研究未见报道。高浓度的氨氮会对生物产生毒害或致死效应,同时,氨氮作为营养盐可以被养殖的龙须菜所吸收利用,从而减少环境污染。借鉴渔民用“挂肥袋”的方法对养殖海带(*Laminaria japonica*)、裙带菜(*Undaria pinnatifida*)幼苗敌害生物进行毒杀或驱除,本研究采用碳酸氢铵作为防除剂。碳酸氢铵易分解生成非离子氨(NH<sub>3</sub>),可能是龙须菜上污损生物多棘麦秆虫理想防除剂。有鉴于此,本研究探讨了不同浓度的碳酸氢铵对多棘麦秆虫的防除效果以及剂量与处理时间的效应关系,为多棘麦秆虫的防除提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

于2012年8月多棘麦秆虫采自山东荣成爱莲湾龙须菜养殖区。带回实验室后,与龙须菜在盛有海水的流水槽中混养。温度为(22.0±0.5)℃、pH为8.03±0.01、盐度为31.0±0.5。碳酸氢铵化肥购自山东荣成市崖头镇,总氮含量17.7%。

### 1.2 实验设计与实施

实验设11个处理组,包括10个碳酸氢铵浓度梯度组,分别为0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 g/L,和1个空白组,每个处理组设3个重复。取附有多棘麦秆虫的龙须菜,湿重均为(25.0±5.0)g,浸泡在不同浓度的碳酸氢铵溶液中。分别浸泡5、10、15 min,记录多棘麦秆虫脱落个数、死亡个数及个体总数。按照《海洋监测规范》的方法测定不同浓度梯度的总氨氮(TNH<sub>3</sub>-N)浓度。水环境温度、盐度由美国YSI Professional Plus 便携式水质分析仪测定,pH由pH计PHSJ-3F(上海雷磁)测定。

从龙须菜苗脱落的麦秆虫以玻璃棒多次触及无任何反应即判定为死亡,有回缩反应即判定为脱落。

### 1.3 计算方法

多棘麦秆虫脱落率及死亡率的计算公式如下:

$$D\% = \frac{n_1}{N} \times 100\%, \quad M\% = \frac{n_2}{N} \times 100\%$$

式中, $D$ 为多棘麦秆虫的脱落率, $M$ 为多棘麦秆虫的死亡率, $n_1$ 、 $n_2$ 分别为多棘麦秆虫的脱落个数及死亡个数, $N$ 为多棘麦秆虫总数。

非离子氨氮浓度 $C_{(\text{NH}_3\text{-N})}$ 按下公式(雷衍之,1993)计算:

$$C_{(\text{NH}_3\text{-N})} = \frac{C_T}{1 + 10^{(\text{pKa} - \text{pH} + \text{pr}_{\text{H}^+})}}$$

式中, $C_{(\text{NH}_3\text{-N})}$ 为非离子氨氮浓度, $C_T$ 为总氨氮浓度。在温度22℃、盐度31时,pKa值为9.33, $\text{pr}_{\text{H}^+}$ 为0.753。

### 1.4 统计分析方法

采用SPSS 17.0软件对碳酸氢铵浓度及处理时间的防除效果进行双因子方差分析。差异显著组采用Duncan进行多重比较。 $P < 0.05$ 为差异显著。采用SPSS 17.0软件的Probit模块计算碳酸氢铵对多棘麦秆虫的100%致死浓度( $LC_{100}$ )。

## 2 结果

### 2.1 碳酸氢铵不同浓度组水体中TNH<sub>3</sub>-N、pH及非离子氨浓度

不同浓度组的TNH<sub>3</sub>-N、非离子氨(UIA)浓度及pH值见表1。随着碳酸氢铵浓度的增加,水体pH值逐渐下降,由初始的8.03降至7.59。

### 2.2 碳酸氢铵浓度与处理时间对多棘麦秆虫脱落率的影响

多棘麦秆虫的脱落表现出明显的时间、剂量关系(图1),碳酸氢铵的浓度越高,处理时间越长,脱落率越大。当碳酸氢铵的浓度为0.5 g/L时,短时间组(5 min)多棘麦秆虫未出现脱落现象,中、长时间组多

表1 不同浓度碳酸氢铵的总氨氮浓度、非离子氨浓度及pH  
Tab.1 The concentration of TNH<sub>3</sub>-N, UIA and pH at different concentrations of NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>

水质因子 Quality factor	空白 Blank	碳酸氢铵浓度 Concentration of NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> (g/L)									
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
pH	8.03	7.74	7.72	7.70	7.69	7.68	7.67	7.61	7.60	7.59	7.59
TNH <sub>3</sub> -N (mg/L)	0.13	49.68	58.37	60.48	72.67	81.59	93.79	218.50	256.98	336.51	416.20
UIA (mg/L)	0.02	3.00	3.36	3.33	3.91	4.28	4.28	9.76	11.22	14.36	17.76

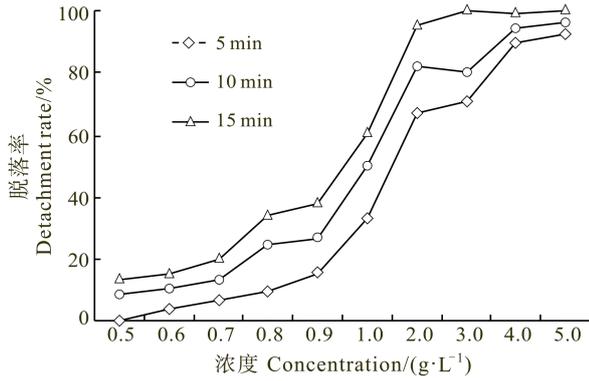


图 1 碳酸氢铵对多棘麦杆虫脱落率的影响

Fig.1 Detachment rate of *C. acanthogaster* exposed to different concentrations of  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$

图中脱落率是减去空白对照的相对值

Detachment rate is the subtraction from blank group

棘麦杆虫虽出现脱落现象,但是脱落率比较低。当浓度达 0.6 g/L 时,短时间组的多棘麦杆虫开始出现脱落。当碳酸氢铵浓度增至 3.0 g/L 时,长时间组的多棘麦杆虫全部脱落。双因素方差分析结果显示,碳酸氢铵浓度与处理时间对麦杆虫脱落率有显著影响( $P < 0.05$ ),且浓度对脱落率的影响大于处理时间对脱落率的影响。

多棘麦杆虫脱落率( $D$ )与浓度( $C$ )的回归关系可以表示为  $\ln D = a + (b/C)$ 。回归方程的参数  $a$ 、 $b$  及复数相关系数见表 2。其中  $a$  的范围为 0.370–0.524,平均值为 0.438,  $b$  的范围为 -2.212 – -1.276,平均值为 -1.657。

表 2 多棘麦杆虫脱落率与碳酸氢铵浓度回归方程的参数  
Tab.2 Parameters related to the regression equation between detachment rate of *C. acanthogaster* and concentration of  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  at different treatment time

时间 Time (min)	系数 $a$ Coefficient $a$	系数 $b$ Coefficient $b$	$R^2$	$P$
5	0.524	-2.212	0.962	0.000
10	0.370	-1.484	0.955	0.000
15	0.421	-1.276	0.951	0.000

### 2.3 碳酸氢铵浓度与处理时间对多棘麦杆虫死亡率的影响

碳酸氢铵浓度和处理时间对多棘麦杆虫死亡率的影响见图 2。当碳酸氢铵浓度低于 0.6 g/L 时,3 个时间组的多棘麦杆虫均未出现死亡现象。当浓度达 0.7 g/L 时,中、长时间组的多棘麦杆虫出现死亡,但死亡率较低。短时间组,在碳酸氢铵浓度达到 0.9 g/L 时,才对多棘麦杆虫有致死作用。浓度在 0.9–2.0 g/L

范围时,多棘麦杆虫的死亡率较低,仅为 5%。随着碳酸氢铵浓度的增加,毒性作用不断增强,死亡率逐渐增大,且同一处理组内,死亡率随着处理时间的延长而增高。当浓度达 2.0 g/L 时,中、长时间组的死亡率迅速增高。双因素方差分析结果显示,碳酸氢铵浓度与处理时间对多棘麦杆虫脱落率均有显著影响( $P < 0.05$ ),且浓度对死亡率的影响大于处理时间对死亡率的影响。

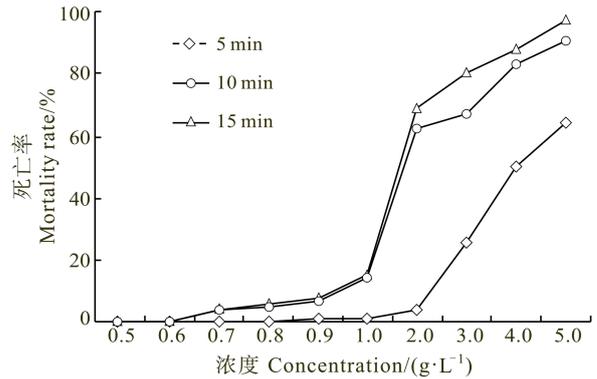


图 2 碳酸氢铵对多棘麦杆虫的死亡率的影响

Fig.2 Mortality rate of *C. acanthogaster* exposed to different concentrations of  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$

图中死亡率是减去空白对照的相对值

Mortality rate is the subtraction from blank group

多棘麦杆虫死亡率( $M$ )与碳酸氢铵浓度( $C$ )的回归关系可以表示为  $\ln M = c + (d/C)$ 。回归方程的参数  $c$ 、 $d$  及复数相关系数见表 3。其中系数  $c$  的范围为 0.529–3.267,平均值为 2.217;系数  $d$  的范围为 -8.977– -3.307,平均值为 -6.469。

碳酸氢铵对多棘麦杆虫 100%致死浓度( $LC_{100}$ )见表 4。处理 5、10 min 的  $LC_{100}$  浓度分别为 7.36 g/L 和 6.17 g/L,二者比较接近,而处理 15 min  $LC_{100}$  仅为 3.68 g/L。

表 3 多棘麦杆虫死亡率与药物浓度回归方程的参数  
Tab.3 Parameters related to the regression equation between mortality rate of *C. acanthogaster* and concentration of  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  at different treatment time

时间 Time (min)	系数 $c$ Coefficient $c$	系数 $d$ Coefficient $d$	$R^2$	$P$
5	0.529	-8.977	0.789	0.000
10	2.856	-7.124	0.728	0.005
15	3.267	-3.307	0.731	0.000

### 3 讨论

目前,养殖过程中污损生物的防除问题已经成为

表 4 碳酸氢铵对多棘麦秆虫的 100%致死浓度和 95%可信限  
Tab.4 The  $LC_{100}$  of  $NH_4HCO_3$  for *C. acanthogaster* at different treatment time

时间 Time(min)	项目 Items	碳酸氢铵浓度 Concentration of $NH_4HCO_3$ (g/L)	UIA 浓度 Concentration of UIA (mg/L)
5	致死浓度 $LC_{100}$	7.36	37.72
	95%置信区间 95% CI	7.00–7.81	30.56–52.97
10	致死浓度 $LC_{100}$	6.17	21.32
	95%置信区间 95% CI	5.56–6.99	20.01–22.93
15	致死浓度 $LC_{100}$	3.68	14.25
	95%置信区间 95% CI	2.90–5.61	13.19–16.19

世界上普遍存在和面临的问题。本研究发现,化肥碳酸氢铵对直接栖居在生物表面的多棘麦秆虫有很强的急性毒性作用,在短时间内有很高的脱落率和致死率,且表现出很好的时间、剂量关系。可以通过增大药物的浓度,减少浸泡的时间,达到有效去除多棘麦秆虫以及增加可操作性的目的。该方法不仅可以用于龙须菜,也可用于其他养殖大型藻类上麦秆虫的防除。碳酸氢铵还可以提供龙须菜等大型藻类生长所需的 N,促进藻类的光合作用,起到增产的效果(程丽巍等, 2011)。

UIA 为非极性化合物,半径较小,易穿透细胞膜毒害生物(曲克明等, 2007),其毒性是离子氨的 50 倍(Alabaster *et al*, 1980)。近年来,UIA 对甲壳纲动物毒性效应的研究有不少报道,研究显示,甲壳纲动物 24 h 的  $LC_{50}$  通常介于 1.43–7.74 mg/L,如脊尾白虾(Ridgetail White Prawn) 幼体 24 h 的  $LC_{50}$  为 4.97 mg/L(梁俊平等, 2012)、斑节对虾(*Penaeus monodon*) 为 3.23 mg/L(李永等, 2012)、南美白对虾(*Litopenaeus schmitti*) 为 1.49–1.67 mg/L(彭自然等, 2004; Barbieri, 2010)。死亡率都随着 UIA 的升高和处理时间的延长而逐渐增加,这与本实验的结果一致,即 UIA 的毒性效应和胁迫时间与其浓度呈正相关。

大量防除剂对端足目动物毒性效应的研究也有相关报道,如有机化合物和重金属化合物等。硫酸铜、五氯苯酚及重铬酸钾 3 种药物对双眼钩虾(*Ampelisca* sp.) 48 h 的  $LC_{50}$  分别为(305.5±58.21)  $\mu$ g/L、(0.09±0.045) mg/L 和(56.89±9.76) mg/L(Soto *et al*, 2000)。麦秆虫(*Caprellap* spp.)对三丁基锡(TBT)及其衍生物特别敏感(Ohji *et al*, 2002; Monteiro *et al*, 2011), 48 h 的  $LC_{50}$  浓度为 1.2–8.6  $\mu$ g/L(Ohji *et al*, 2005), 而钩虾(*Gammarus* spp.)为 17.8–23.1  $\mu$ g/L(Ohji *et al*, 2002)。虽然微量有机化合物或重金属化合物对麦秆虫有绝对的致死作用,但不易降解或易在生物体内富集,均

不是理想的防除剂。碳酸氢铵作为一种防除剂对污损生物防除效果尚没有相关报道,但与其他防除剂相比,碳酸氢铵具有价格便宜、对龙须菜还有促进生长的优点。

由于多棘麦秆虫具有很强的繁殖能力(Bynum, 1980),如若不使其致死,在适宜条件下,多棘麦秆虫会大量繁殖,并快速增长。因此,在龙须菜的养殖生产中,最好采用 100%致死浓度。考虑到高浓度、短时间的浸泡在养殖生产上的可操作性比低浓度、长时间的浸泡更为可行,建议在养殖生产上采用碳酸氢铵浓度为 7.36 g/L(对应的 UIA 为 37.72 mg/L),浸泡时间为 5 min,可以对多棘麦秆虫达到 100%的致死效应。

当然,本实验结果尚需进一步的验证和完善,(1) 该结果仅是室内可控条件的实验结果,能否在养殖实践中有效应用尚需验证。(2) UIA 的毒性效应受水体的 pH 值、溶解氧、盐度、水温等因子的影响,在具体应用中应加以注意。(3) 在富营养化海域,施用氮肥可能会使富营养化水平加剧,因此生产中需根据具体海域情况而定。

## 参 考 文 献

- 王芸, 李健, 张喆, 等. pH、氨氮胁迫对中国对虾 HSP90 基因表达的影响. 渔业科学进展, 2013, 34(5): 43–50
- 王娟, 曲克明, 刘海英, 等. 不同溶氧条件下亚硝酸盐和氨氮对中国对虾的急性毒性效应. 海洋水产研究, 2007, 28(6): 1–6
- 吕振明. 海水养殖网具污损生物的防除技术. 中国水产, 2002, 7: 67–68
- 曲克明, 徐勇, 马绍赛, 等. 不同溶解氧条件下亚硝酸盐和非离子氨对大菱鲆的急性毒性效应. 海洋水产研究, 2007, 28(4): 83–88
- 朱大世, 罗静波, 吴宇略. 不同溶氧条件下  $NO_2-N$  和  $NH_3-N$  对青虾的急性毒性效应. 长江大学学报, 2010, 7(3): 40–42

- 闫雪峰, 于良民, 姜晓辉. 新型防污剂辣素衍生物的合成、抑菌性及防污性能研究. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2013, 1: 64-67
- 严涛, 刘姗姗, 曹文浩. 中国沿海水产设施污损生物特点及防除途径. 海洋通报, 2008, 27(1): 102-110
- 李永, 杨其彬, 苏天凤, 等. 氨氮对斑节对虾的毒性及免疫指标的影响. 上海海洋大学学报, 2012, 21(3): 274-278
- 林秀雁, 卢昌义. 6种陆生植物提取物对白脊藤壶无节幼体的毒杀活性比较. 植物资源与环境学报, 2008, 17(2): 22-27
- 梁俊平, 李健, 李吉涛, 等. 氨氮对脊尾白虾幼虾和成虾的毒性试验. 水产科学, 2012, 31(9): 526-529
- 黄宗国, 蔡如星. 海洋污损生物及其防除(上). 北京: 海洋出版社, 1984, 3-19
- 黄宗国. 中国海洋生物种类与分布(增订版). 北京: 海洋出版社, 2008, 612-613
- 彭自然, 臧维玲, 高杨, 等. 氨和亚硝酸盐对凡纳滨对虾幼虾的毒性影响. 上海海洋大学学报, 2004, 13(3): 274-278
- 程丽巍, 邹定辉, 刘兆普, 等. 不同 N、P 水平对龙须菜生长及生理生化特性的影响. 海洋环境科学, 2011, 30(2): 211-215
- 雷衍之. 淡水养殖水化学. 南宁: 广西科学技术出版社, 1993, 96-99
- Alabaster JS, Lloyd R. Water quality criteria for freshwater fish [in Europe]. London: Butterworths, 1980, 297
- Barbieri E. Acute toxicity of ammonia in white shrimp (*Litopenaeus schmitti*) (Burkenroad, 1936, Crustacea) at different salinity levels. Aquaculture, 2010, 306(1): 329-333
- Bynum KH. Multivariate assessment of morphological variation in *Caprella penantis* Leach, 1814 (Amphipoda: Caprellidae). Estuarine and Coastal Marine Science, 1980, 10(2): 225-237
- Evans SM. TBT or not TBT: that is the question. Biofouling, 1999, 14(2): 117-129
- Monteiro HR, Esteves AC, Correia A, et al. Bioremediation of TBT contaminated marine waters by bacteria and ecotoxicological evaluation of its by-products. Current Opinion in Biotechnology, 2011, 22: S38
- Ohji M, Arai T, Miyazaki N. Acute toxicity of tributyltin to the Caprellidea (Crustacea: Amphipoda). Marine Environmental Research, 2005, 59(3): 197-201
- Ohji M, Takeuchi I, Takahashi S, et al. Differences in the acute toxicities of tributyltin between the Caprellidea and the Gammaridea (Crustacea: Amphipoda). Marine Pollution Bulletin, 2002, 44(1): 16-24
- Rittschof D, Lai CH, Kok LM, et al. Pharmaceuticals as antifoulants: concept and principles. Biofouling, 2003, 19(S1): 207-212
- Ross KA, Thorpe JP, Norton TA, et al. Fouling in scallop cultivation: help or hindrance? Journal of Shellfish Research, 2002, 21(2): 539-548
- Shi H, Wang LM. Nontoxic marine anti-fouling coating containing capsaicin. Marine Science Bulletin, 2006, 8(1): 92-96
- Soto E, Larrain A, Bay-Schmith E. Sensitivity of *Ampelisca araucana* juveniles (Crustacea: Amphipoda) to organic and inorganic toxicants in tests of acute toxicity. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2000, 64(4): 574-578

(编辑 刘丛力)

## Removal of the Biofouling Organism *Caprella acanthogaster* Attached on Cultivated Seaweed *Gracilaria lemaneiformis* Using Ammonium Bicarbonate

WEI Yanwei<sup>1,2</sup>, ZHANG Jihong<sup>2</sup>, WU Wenguang<sup>2</sup>

(1. College of Fisheries and Life Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;

2. Key Laboratory for Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Ecological Environment, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

**Abstract** Biofouler *Caprella acanthogaster*, a subtype of Crustacea Amphipoda, feed on cultivated macroalgae *Gracilaria lemaneiformis* and resultantly affect the survival and growth of the latter. Ammonia could be a potential antifoulant to biofouler *C. acanthogaster* due to its toxic effects at high concentrations.  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  may be an efficient source of the ammonia-based antifoulant—as a common agricultural fertilizer, it could provide nitrogen nutrient for *G. lemaneiformis*; moreover, it is readily to be reduced into water and carbon dioxide. In our experiments, *C. acanthogaster* was exposed to  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  solution at different concentrations ( $C$ ) including 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 and 5.0 g/L, with 0 g/L as the blank control. The detachment rate ( $D$ ) and mortality rate ( $M$ ) of *C. acanthogaster* was measured after three treatments separately—short time (5 min), medium time (10 min), and long time (15 min). The results showed that both the  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  concentration and the length of treatment had significant effects on the detachment rate ( $D$ ) and the mortality rate ( $M$ ) ( $P < 0.05$ ). The saturating lethal concentrations of  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  for the 5 min, 10 min and 15 min treatments were 7.36 (7.00–7.81), 6.17 (5.56–6.99), and 3.68 (2.90–5.61) g/L, respectively.  $D$  and  $M$  increased along with the elevation of the  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  concentration and the exposure time. In the same exposure time, the relationship between  $D$  or  $M$  and the  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  concentration could fit in the S-shaped curve equation:  $\ln D = a + (b/C)$ , or  $\ln M = c + (d/C)$ . Given that *C. acanthogaster* has a short reproduction time that short-term operation is more plausible in aquaculture, we suggested that *G. lemaneiformis* should be soaked in 7.36 g/L  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  solution for 5 min. However, more caution should be exercised when  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  is applied in eutrophication areas.

**Key words** *Caprella acanthogaster*; Antifouling efficiency; Ammonium bicarbonate; *Gracilaria lemaneiformis*