

DOI: 10.12264/JFSC2022-0375

3 种螺对养殖鲍外壳附着牡蛎的防除作用

王英朴^{1,2,3}, 李加琦^{2,3}, 薛素燕^{2,3}, 常丽荣⁴, 卢龙飞⁴, 张义涛⁵, 毛玉泽^{2,3}

1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;
2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业农村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, 山东 青岛 266071;
3. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室, 山东 青岛 266237;
4. 国家海产贝类工程技术研究中心, 山东 威海 264316;
5. 荣成东楮岛海洋科技有限公司, 山东 威海 264312

摘要: 为研究养殖皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai* Ino)外壳附着牡蛎的防除方法, 对比了疣荔枝螺(*Thais clavigera* Kuster)、润泽角口螺(*Ceratostoma rorifluum*)和甲虫螺(*Cantharus cecillei*)对鲍外壳表面牡蛎的防除效果。以桑沟湾筏式养殖鲍为研究对象, 自 7 月中旬开始, 每隔 15 d 左右分别投放 3 种螺到鲍养殖笼中, 共投放 6 次, 以始终未投放螺的养殖笼为对照组。结果显示, 实验结束时甲虫螺组中鲍壳上平均存活牡蛎数目为 (0.04 ± 0.04) 个/只, 疣荔枝螺组和润泽角口螺组疣荔枝螺组分别为 (2.49 ± 0.91) 个/只和 (2.21 ± 1.05) 个/只, 对照组为 (3.33 ± 0.46) 个/只。投放 3 种螺组中鲍壳上存活牡蛎数均显著显著低于对照组($P < 0.05$), 甲虫螺也显著低于其他 2 种螺($P < 0.05$)。投螺时间也会影响螺防除牡蛎污损的效果, 投放时间过晚会导致螺捕食牡蛎后有明显的壳残留, 牡蛎的壳高达到 0.5 cm 左右再投放螺即可保证防除效果。另外甲虫螺组鲍壳上死亡牡蛎残留壳长度为 (0.73 ± 0.27) cm, 显著低于疣荔枝螺组 $[(0.88 \pm 0.28)$ cm]、润泽角口螺组 $[(0.93 \pm 0.28)$ cm]和对照组 $[(0.92 \pm 0.24)$ cm]($P < 0.05$), 表明甲虫螺所摄食牡蛎的规格小于另外 2 种螺。研究表明, 3 种螺均有显著的防除作用, 甲虫螺防控牡蛎附着的作用最强; 投螺时间会影响 3 种螺的牡蛎防除效果, 需要选择合适的投放时间进行投放; 在牡蛎已经大量附着且成长到一定规格时可选择疣荔枝螺和润泽角口螺作为补充。

关键词: 皱纹盘鲍; 筏式养殖; 生物污损; 润泽角口螺; 疣荔枝螺; 甲虫螺

中图分类号: S968

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2023)03-0344-08

皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai* Ino)是我国重要的海洋经济养殖动物, 具有很高的经济和营养价值。养殖过程中鲍壳上常常会附着如牡蛎、海鞘、盘管虫、藤壶等污损生物, 严重影响鲍的外观和销售价格。牡蛎作为主要污损生物之一, 其附着后十分牢固, 人工清除鲍壳上的牡蛎不仅费时费力, 还可能造成鲍的损伤^[1]。网笼内壁上附着的大量牡蛎还会对鲍的正常生长和存活产生影响^[2], 因此牡蛎的防除成了鲍养殖生产中不可忽

视的问题。目前对于污损生物的防除主要从两方面展开研究: 一方面是从污损生物的附着机理及影响因素入手, 通过减少污损生物附着率的方式来进行防除, 例如史航等^[3-4]对藤壶和海葵的附着机制进行研究后, 通过在网衣上涂涂料的方式进行污损生物防除并取得一定成效。另一方面则是利用生物防治的方法, 通过挑选一些摄食能力强且运动性较高的物种与养殖贝类混养, 来达到控制污损生物数量的效果, 目前在这方面已经报

收稿日期: 2022-10-24; **修订日期:** 2022-11-25.

基金项目: 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项(2019YFD0900800); 中国水产科学研究院基本科研业务费项目(2020TD50).

作者简介: 王英朴(1996–), 硕士, 研究方向为养殖生态. E-mail: aoo7416275@sina.com

通信作者: 毛玉泽, 研究员, 研究方向为海水健康养殖理论与技术, E-mail: maoyz@ysfri.ac.cn; 李加琦, 副研究员, 研究方向为海水养殖生态, E-mail: lijq@ysfri.ac.cn

道了利用海胆^[5]、螺^[6]、蟹^[7]等不同生物进行污损防除的研究。在鲍筏式养殖中,螺因体型小、捕食能力强、价格便宜等优点,在实际生产中得到了广泛的应用。

山东半岛的桑沟湾是国内皱纹盘鲍的主要度夏场之一^[8],该区域内自然分布和养殖了大量的牡蛎,其繁殖期与鲍的度夏养殖期重叠,导致桑沟湾内养殖的鲍外壳上往往附着大量的牡蛎。在养殖过程中一般会选择在鲍笼中投放一定数量的甲虫螺(*Cantharus cecillei*)来防除养殖过程中牡蛎的附着^[9]。甲虫螺为肉食性螺,属蛾螺科(Buccinidae),其摄食种类较广,能够捕食藤壶、海鞘、牡蛎等附着生物^[10],有着良好的污损防除能力,同为肉食性螺的疣荔枝螺(*Thais clavigera* Kuster)和润泽角口螺(*Ceratostoma rorifluum*)也有着与甲虫螺相同的摄食习性^[11-13],这2种螺都属于骨螺科,其大量分布于山东半岛周边沿海^[14-15],是桑沟湾地区的常见螺种,易于收集,同样适合用于牡蛎防除。因此本实验选择疣荔枝螺、润泽角口螺与甲虫螺3种螺为研究对象,通过设置不同的投螺时间,比较这3种螺的牡蛎防除效果,以期能够为实际生产中牡蛎防除的螺种选择和投放时间的选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用的疣荔枝螺和润泽角口螺来源于桑沟湾海域,甲虫螺来自于福建海域。本实验所用疣荔枝螺平均壳高为(33.67±3.99) mm,平均湿重为(7.43±2.60) g;润泽角口螺平均壳高为(40.83±7.00) mm,平均湿重为(8.58±3.88) g;甲虫螺平均壳高为(27.65±3.04) mm,平均湿重为(2.99±1.08) g。本实验中的皱纹盘鲍选择无损伤、壳表面无附着物的个体。

1.2 实验方法

1.2.1 实验设计 本实验海区位于山东荣成桑沟湾海域,该海域水深为(6~15) m,夏季平均海水温度为23℃,盐度为30,较为适合鲍的生长。实验时间为2021年7月10日至2021年12月19日,为期165 d。实验箱笼由硬塑料制成,规格为

43.5 cm×33.5 cm×90 cm,箱笼共分为6层,每层均设有一个小门,以便投喂饵料和取样观察(图1),养殖箱笼使用2 m长的尼龙绳悬挂在水下,因系绳手法和海流变化等原因,可能会导致不同箱笼到水面的高度不同。实验取上3层作为3组重复,将3种螺按疣荔枝螺、润泽角口螺、甲虫螺的顺序分别放入箱笼中并编号1、2、3,参考王进可等^[16]的研究及实际生产中所投放螺的密度,决定每层放入6只螺,同时将始终未投放螺的组作为对照组,编号为0号。而后每隔15 d左右在接下来的3个箱笼中按之前的顺序分别投放3种螺,因海区天气原因投放时间相应延迟或提前2~3 d,在2021年9月29日,完成所有箱笼的投放工作。实验共计19个箱笼,每层箱笼养殖30头皱纹盘鲍。实验设计的基本情况见表1。

1.2.2 养殖管理 将19个实验箱笼吊挂于海区内,采用相同的管理模式,投喂海带作为鲍饲料,每隔3~4 d投喂1次,投喂时观察残饵情况,根据剩余海带量酌情投饵,观察鲍、螺的活力,及时清除残饵及死亡的鲍苗。

1.2.3 指标测定及方法 每15 d观察并记录1次鲍壳上牡蛎附着情况,每层随机取出6只鲍,将其放在平坦的桌面,使用相机拍摄鲍俯视图,并通过图像处理软件ImageTool^[17]测定鲍壳高和牡蛎的壳高以及附着牡蛎的死亡和存活个数。在实验结束时,将箱内的3种螺全部回收,测量个体壳高、湿重,计算存活率等指标。

1.3 统计分析

数据使用Origin、Excel和R 4.0.5软件进行



图1 实验用养殖箱笼

Fig. 1 Breeding cage for experiment

表 1 实验设计
Tab. 1 Experiment design

编号 number	投螺时间 time to add the snails	螺的种类 types of snails	投螺个数 number of snails
0	7.10 July 10		0
1	7.10 July 10	疣荔枝螺 <i>Thais clavigera</i> Kuster	6
2	7.10 July 10	润泽角口螺 <i>Ceratostoma rorifluum</i>	6
3	7.10 July 10	甲虫螺 <i>Cantharus cecillei</i>	6
4	7.27 July 27	疣荔枝螺 <i>Thais clavigera</i> Kuster	6
5	7.27 July 27	润泽角口螺 <i>Ceratostoma rorifluum</i>	6
6	7.27 July 27	甲虫螺 <i>Cantharus cecillei</i>	6
7	8.10 August 10	疣荔枝螺 <i>Thais clavigera</i> Kuster	6
8	8.10 August 10	润泽角口螺 <i>Ceratostoma rorifluum</i>	6
9	8.10 August 10	甲虫螺 <i>Cantharus cecillei</i>	6
10	8.27 August 27	疣荔枝螺 <i>Thais clavigera</i> Kuster	6
11	8.27 August 27	润泽角口螺 <i>Ceratostoma rorifluum</i>	6
12	8.27 August 27	甲虫螺 <i>Cantharus cecillei</i>	6
13	9.15 September 15	疣荔枝螺 <i>Thais clavigera</i> Kuster	6
14	9.15 September 15	润泽角口螺 <i>Ceratostoma rorifluum</i>	6
15	9.15 September 15	甲虫螺 <i>Cantharus cecillei</i>	6
16	9.29 September 29	疣荔枝螺 <i>Thais clavigera</i> Kuster	6
17	9.29 September 29	润泽角口螺 <i>Ceratostoma rorifluum</i>	6
18	9.29 September 29	甲虫螺 <i>Cantharus cecillei</i>	6

统计分析,结果以平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示。对数据进行单因素方差分析(one way ANOVA),差异的显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同实验组螺的回收率

实验结束后,从箱笼中取出所有实验投放的螺用以计算回收率,经计算疣荔枝螺、润泽角口螺、甲虫螺的回收率分别为(87.00±10.52)%、(88.67±12.04)%和(77.60±7.12)%,3种螺的回收率无显著差异($P>0.05$,表2)。

表 2 3 种螺的回收率
Tab. 2 Recapture ratio of three snail species
 $n=3; \bar{x} \pm SD$

螺种 snail species	回收率/% recapture ratio
疣荔枝螺 <i>Thais clavigera</i> Kuster	87.00±10.52
润泽角口螺 <i>Ceratostoma rorifluum</i>	88.67±12.04
甲虫螺 <i>Cantharus cecillei</i>	77.60±7.12

2.2 牡蛎在鲍壳上的生长状况

对照组 0 号笼中鲍壳上牡蛎壳高(cm)的生长速度与时间(d)呈线性相关,线性拟合公式为

$y=0.0108x+0.586$,牡蛎生长速度为 108 $\mu\text{m}/\text{d}$ (图2)。9月15日第1次发现附着在鲍壳上的牡蛎,其壳高为(0.586±0.045) cm,9月29日成长为(0.735±0.134) cm,11月12日牡蛎壳高为(1.247±0.259) cm,12月19日牡蛎壳高为(1.578±0.320) cm。鲍壳高线性拟合公式为 $y=0.0081x+6.349$,生长速度为 81 $\mu\text{m}/\text{d}$ (图2),较牡蛎生长慢。

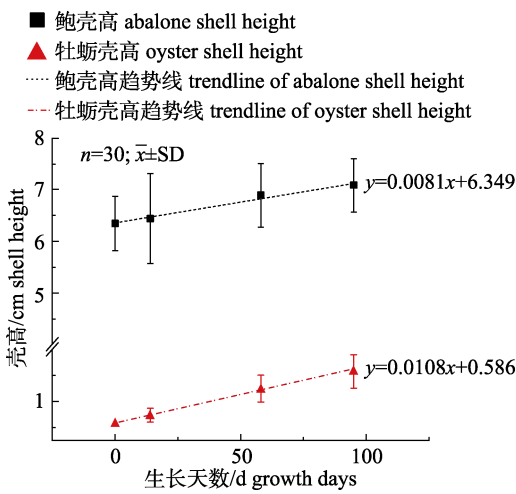


图 2 鲍壳高和牡蛎壳高随时间的变化
Fig. 2 The change of shell height of oyster and abalone

2.3 不同实验组鲍壳上牡蛎附着数量的比较

将12月19日测量的18组数据按螺的种类进行分组并计算存活牡蛎数和附着牡蛎总数。实验组鲍壳上活体牡蛎的数量显著低于对照组(图3), 表明疣荔枝螺、润泽角口螺和甲虫螺均能抑制鲍壳上牡蛎的存活。甲虫螺组中鲍壳上存活的牡蛎数为 (0.04 ± 0.04) 个/只, 疣荔枝螺和润泽角口螺组分别为 (2.49 ± 0.91) 个/只和 (2.21 ± 1.05) 个/只, 对照组为 (3.33 ± 0.46) 个/只, 甲虫螺组与疣荔枝螺和润泽角口螺2组以及对照组之间存在显著差异($P < 0.05$)。

鲍壳上附着的牡蛎总数(存活个体加上死亡个体)按对照组、疣荔枝螺、润泽角口螺、甲虫螺的顺序分别为 (4.2 ± 1.85) 个/只, (3.93 ± 1.92) 个/只, (4.08 ± 2.69) 个/只与 (0.65 ± 0.22) 个/只(图4)。投放甲

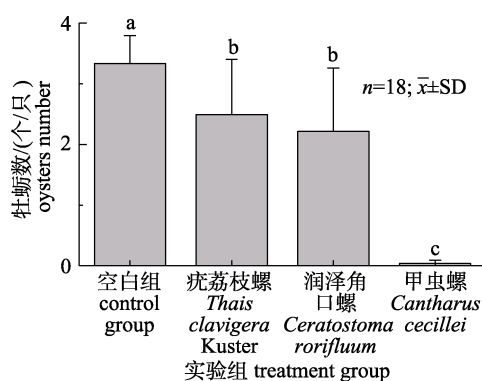


图3 不同实验组鲍壳上存活牡蛎的个数

不同字母表示各组间差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 3 The number of alive oysters on the abalones in three snail species treatment groups. Different letters indicate significant difference among different treatment groups ($P < 0.05$).

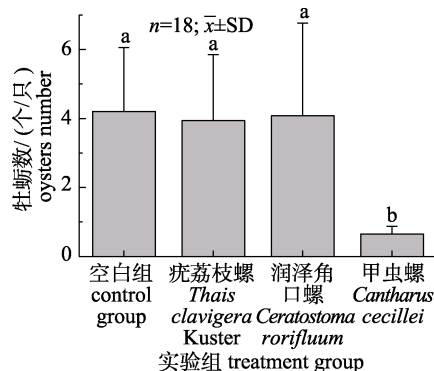


图4 不同实验组鲍壳上的牡蛎总数

不同字母表示各组间差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 4 The number of total oysters on the abalones in three snail species treatment groups. Different letters indicate significant difference among different treatment groups ($P < 0.05$).

虫螺的箱笼中鲍壳上附着的牡蛎总数显著低于其他2种螺与对照组($P < 0.05$), 疣荔枝螺与润泽角口螺相较于对照组无显著差异($P > 0.05$)。

2.4 不同实验组鲍壳上牡蛎壳高的比较

将12月19日测量的18组数据按螺的种类进行分组并计算存活牡蛎壳高和死亡牡蛎壳高。3种螺对存活牡蛎壳高的生长均有一定的抑制作用(图5), 其中甲虫螺组存活牡蛎壳高为 (1.06 ± 0.19) cm, 疣荔枝螺和润泽角口螺组存活牡蛎壳高分别为 (1.29 ± 0.30) cm和 (1.37 ± 0.40) cm, 对照组存活牡蛎壳高为 (1.58 ± 0.42) cm。甲虫螺组与疣荔枝螺和润泽角口螺2组以及对照组三者之间存在显著差异($P < 0.05$)。在死亡牡蛎壳高的数据中(图6), 投放疣荔枝螺的组死亡牡蛎壳高为 (0.88 ± 0.28) cm, 润泽角口螺为 (0.93 ± 0.28) cm, 甲虫螺为 (0.73 ± 0.27) cm, 对照组牡蛎死亡壳高为 (0.92 ± 0.24) cm, 甲虫螺的死亡牡蛎壳高显著低于其他3组($P < 0.05$)。

2.5 不同投放时间对鲍壳上牡蛎个数的影响

死亡牡蛎个数是以在鲍壳上发现的牡蛎残壳数量来计数, 疣荔枝螺在投螺时间较早的7月10日、7月27日和8月10日对牡蛎的捕食很少会留下牡蛎残壳, 在8月27日和9月15日投放的疣荔枝螺组中鲍壳上牡蛎残壳数量要显著高于较早时间投放螺的3组($P < 0.05$), 而在9月29日投放的疣荔枝螺鲍壳上牡蛎残壳数量要显著高于前5组($P < 0.05$)。润泽角口螺在9月29日投放时捕食

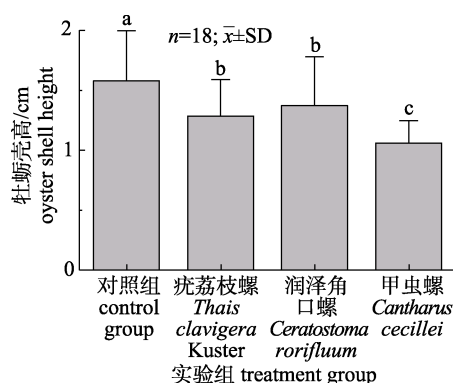


图5 不同实验组鲍壳上存活牡蛎的壳高

不同字母表示各组间差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 5 The shell height of surviving oysters on the abalones in three snail species treatment groups. Different letters indicate significant difference among different treatment groups ($P < 0.05$).

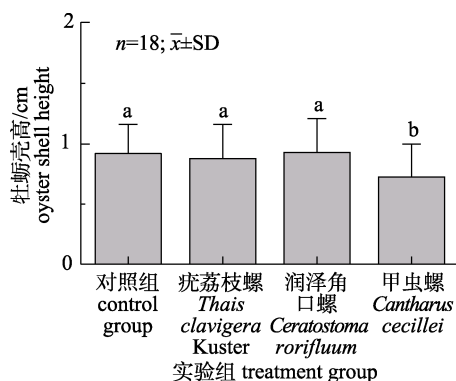


图 6 不同实验组鲍壳上死亡牡蛎的壳高
不同字母表示各组间差异显著($P<0.05$).

Fig. 6 The shell height of dead oysters on the abalones in three snail species treatment groups
Different letters indicate significant difference among different treatment groups ($P<0.05$).

牡蛎留下的残壳数要显著高于前 5 组和对照组 ($P<0.05$)。投放甲虫螺的实验组因网笼在海区中遗失导致其 9 月 29 日数据丢失, 9 月 15 日投放甲虫螺的箱笼中鲍壳上的死亡牡蛎残壳数显著高于前 4 组和空白组 ($P<0.05$, 图 7)。

疣荔枝螺和润泽角口螺的投螺时间能够影响螺的对牡蛎的捕食效率, 2 种螺在 9 月 29 日投放均能很好地抑制鲍壳上存活牡蛎的数量, 与对照组有显著差异 ($P<0.05$), 但过早投放则无法有效抑制存活牡蛎的数量。甲虫螺在不同时间投放均能够有效抑制鲍壳上存活牡蛎的数量且与对照组差异显著 ($P<0.05$, 图 8)。

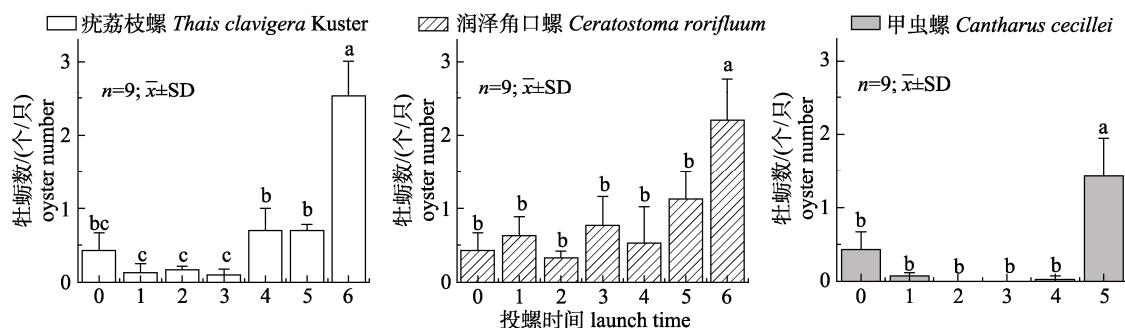


图 7 不同实验组鲍壳上死亡牡蛎的个数

0. 对照组, 1. 投螺时间 7 月 10 日, 2. 投螺时间 7 月 27 日, 3. 投螺时间 8 月 10 日, 4. 投螺时间 8 月 27 日, 5. 投螺时间 9 月 15 日, 6. 投螺时间 9 月 29 日。甲虫螺 9 月 29 日数据因箱笼遗失导致数据丢失。不同字母表示各组间差异显著 ($P<0.05$)。

Fig. 7 The number of dead oysters on the abalones in three snail species treatment groups
0. Control group, 1. Launched on July 10, 2. Launched on July 27, 3. Launched on August 10, 4. Launched on August 27, 5. Launched on September 15, 6. Launched on September 29. The data of *Cantharus cecillei* on September 29 was lost due to the loss of the box cage. Different letters indicate significant difference among different treatment groups ($P<0.05$).

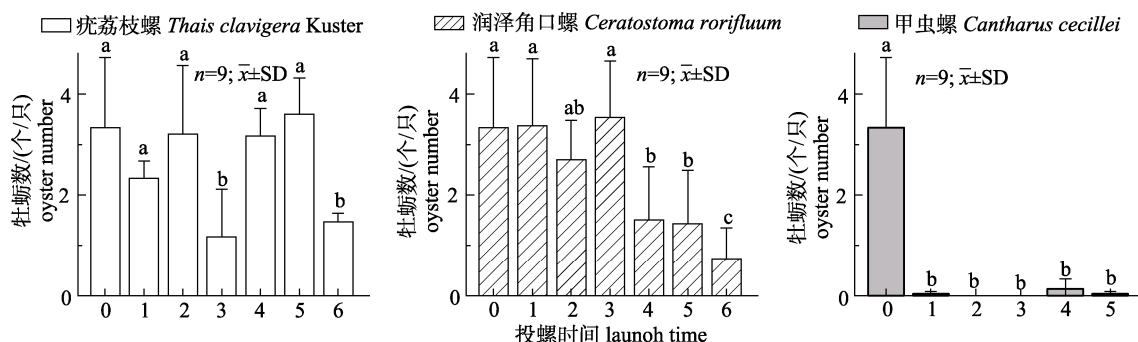


图 8 不同实验组鲍壳上存活牡蛎的个数

0. 对照组, 1. 投螺时间 7 月 10 日, 2. 投螺时间 7 月 27 日, 3. 投螺时间 8 月 10 日, 4. 投螺时间 8 月 27 日, 5. 投螺时间 9 月 15 日, 6. 投螺时间 9 月 29 日。甲虫螺 9 月 29 日数据因箱笼遗失导致数据丢失。不同字母表示各组间差异显著 ($P<0.05$)。

Fig. 8 The number of alive oysters on the abalones in three snail species treatment groups
0. Control group, 1. Launched on July 10, 2. Launched on July 27, 3. Launched on August 10, 4. Launched on August 27, 5. Launched on September 15, 6. Launched on September 29. The data of *Cantharus cecillei* on September 29 was lost due to the loss of the box cage. Different letters indicate significant difference among different treatment groups ($P<0.05$).

3 讨论

实验中,附着在鲍壳上的牡蛎即使受到牡蛎密度、鲍壳面积等因素的限制^[18-19],其生长速度仍然要快于鲍壳高生长的速度(图2)。随着鲍壳上牡蛎附着数量的增加,如果不采取有效手段,鲍壳会逐渐被牡蛎完全覆盖,因此必须要做好养殖过程中的牡蛎防除措施。实验选择疣荔枝螺、润泽角口螺和甲虫螺来研究牡蛎防除的效果,从回收率来看3种螺都能够适应鲍螺混养的环境,并且各个箱笼中鲍的存活率也在90%以上,说明这3种螺都可作为防除牡蛎污损的混养生物。相比于对照组,疣荔枝螺和润泽角口螺虽然能够减少鲍壳上存活牡蛎的数量并抑制其壳高生长,但效果不如甲虫螺,而且从鲍壳上附着的牡蛎总数来看,疣荔枝螺与润泽角口螺的防除效果不如甲虫

螺明显。鲍壳上附着的牡蛎总数能够有效反映出鲍壳的干净程度,牡蛎附着数量少的鲍较为干净,受到污损生物影响的程度小。从保持鲍壳洁净的方面考虑,甲虫螺具有极大优势,这也与王进可等^[16]的研究结果相同。但投放甲虫螺的时间不宜太晚,在本实验中甲虫螺在8月27日之前的较早时间投放,其防止牡蛎附着的效果显著,甚至出现了取样个体鲍壳上无牡蛎死亡残壳的情况。这是因为甲虫螺捕食的牡蛎很多并未形成牢固的外壳,在被捕食后其残壳逐渐脱落,使得鲍壳上的牡蛎总数较少甚至没有牡蛎附着^[20-21]。但若将投放时间推迟至9月15日以后,虽然甲虫螺仍能大量捕食牡蛎使得牡蛎的死亡数量大幅增加,但此时的牡蛎大多已经牢固附着在鲍壳上,即使将其捕食,其残留的外壳仍会牢固地附着在鲍壳上,导致甲虫螺防控牡蛎附着的效果大幅下降(图9)。

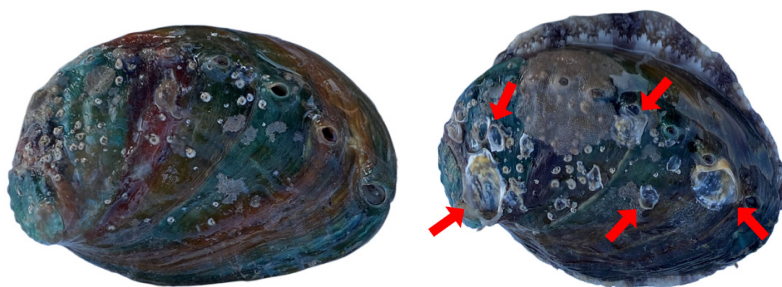


图9 鲍壳上牡蛎残壳的数量

左为8月27日投放甲虫螺,右为9月15日投放甲虫螺。红色箭头所指为牡蛎残壳。

Fig. 9 Number of dead oysters on abalone shells

On the left, *Cantharus cecillei* were launched on 27 August. On the right, *Cantharus cecillei* were launched on 15 September. Red arrow indicates dead oyster shells.

疣荔枝螺和润泽角口螺虽然在防控牡蛎附着的效果上不如甲虫螺,但在9月29日投放仍能够大量捕食牡蛎,有效减少鲍壳上存活牡蛎的数量,早期投放没有显著效果的原因可能是食物缺乏导致2种螺活力下降。楼子康^[22]在对蛎敌荔枝螺的研究中曾提到小规格的荔枝螺几乎无法捕食较大体型的牡蛎,只有中规格和大规格的荔枝螺才会更多地捕杀较大体型的牡蛎。可能是体型相比于甲虫螺较大使得这2种螺摄食的牡蛎规格也相对较大(图6)。在牡蛎附着较少的年份,投放一定量的甲虫螺便可在牡蛎尚未附着或附着的初期高效地清除牡蛎污损,但牡蛎附着会因水温、盐度、

附着基等因素而产生变化^[23-24],使得牡蛎附着的时间和数量发生变化,对于牡蛎大量附着的年份,依据往年经验投放的甲虫螺数量可能不足,从而导致鲍壳上牡蛎大量增加并且个体也相对较大,而螺类在捕食过程中更倾向于捕食更容易杀死的个体^[25-26],导致大个体牡蛎更加难以清除。此时在有充足牡蛎作为食物的情况下,规格较大的疣荔枝螺和润泽角口螺就可作为甲虫螺的补充,用以清除这些大个体的牡蛎。

参考文献:

- [1] Xu W Q, Ni J. Selection of cutting machine on removing fouling organisms on abalone shellfish and technological

- parameter optimization[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(16): 293-298. [徐文其, 倪锦. 鲍壳体附着物去除切削工具选择及工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2017, 33(16): 293-298.]
- [2] Kong Y T, Wang Q, Cheng Z M, et al. Fouling organisms and control in ocean based cultivation of abalone (*Haliotis discus Hannai*)[J]. Marine Environmental Science, 2000, 19(1): 40-43. [孔泳滔, 王琦, 程振明, 等. 皱纹盘鲍筏式养殖中的污损生物及其防治[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(1): 40-43.]
- [3] Shi H, Wang L M. Adhesion mechanism and prevention of marine biofouling barnacle[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2006, 33(6): 72-73, 81. [史航, 王鲁民. 海洋污损生物藤壶的附着机理及防除[J]. 广东农业科学, 2006, 33(6): 72-73, 81.]
- [4] Shi H, Shi J G, Wang L M. Adhesion mechanism of anemone and its control on net clothing[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2006, 34(5): 181-183. [史航, 石建高, 王鲁民. 海葵的附着机理及其在网衣上的防除[J]. 江苏农业科学, 2006, 34(5): 181-183.]
- [5] Wang S S. Studies on shallow sea raft mixed culture of *Haliotis discus Hannai* and *Strongylocentrotus intermedium* in the Sanggou Bay[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2021, 43(5): 115-120. [王珊珊. 桑沟湾皱纹盘鲍与中间球海胆浅海筏式混养研究[J]. 海洋湖沼通报, 2021, 43(5): 115-120.]
- [6] Zhou Y C, Pan J P. A preliminary study on biological control of cymatium, a predator of *Pinctada martensii*[J]. Tropic Oceanology, 2001, 20(3): 81-86. [周永灿, 潘金培. 合浦珠母贝敌害生物嵌线螺的生物防治初探[J]. 热带海洋学报, 2001, 20(3): 81-86.]
- [7] Gibbons M C, Castagna M. Biological control of predation by crabs in bottom cultures of hard clams using a combination of crushed stone aggregate, toadfish, and cages[J]. Aquaculture, 1985, 47(2-3): 101-104.
- [8] Lin W L, Huang H L. Abalone breeding mode in summer[J]. Scientific Fish Farming, 2019(2): 59-60. [林位琅, 黄洪龙. 鲍鱼度夏养殖模式[J]. 科学养鱼, 2019(2): 59-60.]
- [9] Wang J K, Yan Z L. Current status and development trend on abalone culture[J]. Fisheries Science, 2012, 31(12): 749-753. [王进可, 严正凇. 鲍养殖现状及发展趋势[J]. 水产科学, 2012, 31(12): 749-753.]
- [10] Li F L, Lin M. A preliminary study on the Buccinidae from China coasts i. engina and cantharus[J]. Studia Marina Sinica, 2000(1): 108-115. [李凤兰, 林民玉. 中国近海蛾螺科的初步研究 I. 唇齿螺属及甲虫螺属[J]. 海洋科学集刊, 2000(1): 108-115.]
- [11] Shi H H, Huang C J, Yu X J, et al. An updated scheme of imposex for *Cantharus cecillei* (Gastropoda: Buccinidae) and a new mechanism leading to the sterilization of imposex-affected females[J]. Marine Biology, 2005, 146(4): 717-723.
- [12] Naoya A B E. Growth and prey preference of the two forms in *Thais clavigera* (kuster) under rearing[J]. Venus (Japanese Journal of Malacology), 2018, 53(2): 113-118.
- [13] Astudillo J C, Bonebrake T C, Leung K M Y. Deterred but not preferred: Predation by native whelk *Reishia clavigera* on invasive bivalves[J]. PLoS One, 2018, 13(5): e0196578.
- [14] Zhang S P, Zhang F S. Species of *Thais* from China coasts (Gastropoda: Muricidae)[J]. Marine Sciences, 2005, 29(8): 75-83. [张素萍, 张福绥. 中国近海荔枝螺属的研究(腹足纲: 骨螺科)[J]. 海洋科学, 2005, 29(8): 75-83.]
- [15] Zhang S P. Study on species of Ocenbrinae from the China coasts (Gastropoda: Muricidae)[J]. Marine Sciences, 2009, 33(10): 15-20. [张素萍. 中国近海台称螺亚科的研究(腹足纲, 骨螺科)[J]. 海洋科学, 2009, 33(10): 15-20.]
- [16] Wang J K, Zhong Y P, Huang L M, et al. The preliminary study on polyculture technique of abalone and whelk in sea area[J]. Journal of Jimei University (Natural Science), 2013, 18(5): 329-336. [王进可, 钟幼平, 黄良敏, 等. 养殖海域鲍螺混养技术的初步研究[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2013, 18(5): 329-336.]
- [17] Baker S A, Gardner, S D, Rogers, M L, et al. Image Tool, Photonics West 2001-electronic Imaging.
- [18] Wang W, Li L, Li A, et al. Large-scale artificial reproduction and cultivation of the Jinjiang Oyster (*Crassostrea ariakensis*)[J]. Marine Sciences, 2020, 44(2): 108-112. [王威, 李莉, 黎奥, 等. 近江牡蛎(*Crassostrea ariakensis*)规模化人工育苗及养成[J]. 海洋科学, 2020, 44(2): 108-112.]
- [19] Fan R L. Effect of substrate types on oyster settlement, growth, population establishment and reef development[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017. [范瑞良. 基质类型对牡蛎附着、生长、种群建立及礁体发育的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.]
- [20] Gong Y Z. Common enemies in oyster culture and their prevention and control[J]. Scientific Fish Farming, 2006(12): 55. [宫一震. 牡蛎养殖常见敌害及防治[J]. 科学养鱼, 2006(12): 55.]
- [21] Fang X, Zhang F C, Chen L, et al. Study on prevention of Pacific oyster harm in bay scallop culture[J]. Hebei Fisheries, 2010(6): 8-10, 13. [方笑, 张福崇, 陈力, 等. 海湾扇贝养殖中预防太平洋牡蛎危害技术研究[J]. 河北渔业, 2010(6): 8-10, 13.]
- [22] Lou Z K. An observation on the habit of the natural enemy of oysters — *Purpura gradata* Jonas[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1963(1): 56-70. [楼子康. 牡蛎敌害——蛎敌荔枝螺习性的观察[J]. 海洋与湖沼, 1963(1): 56-70.]
- [23] Fan R L, Li N N, Wang T N, et al. Effects of substrate size on the settlement of oyster larvae: Evidence from laboratory and field experiments[J]. Marine Fisheries, 2020, 42(3): 315-323. [范瑞良, 李楠楠, 王桃妮, 等. 底物大小对牡蛎幼虫附着的诱导效应[J]. 海洋渔业, 2020, 42(3): 315-323.]
- [24] Metz J L, Stoner E W, Arrington D A. Comparison of substrates for eastern oyster (*Crassostrea virginica*) spat settlement in the loxahatchee river estuary, Florida[J]. Journal of Shellfish Research, 2015, 34(3): 861-865.
- [25] Sun Z Y, Fan R L, Sui Y M, et al. Predation of the sumonie oyster *Crassostrea ariakensis* and the Kumamoto oyster *C. sikamea* by three invertebrate species in lab experiments[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(7): 2895-2901. [孙兆跃, 范瑞良, 隋延鸣, 等. 3种无脊椎动物对近江牡蛎 *Crassostrea ariakensis* 和熊本牡蛎 *C. sikamea* 的捕食研究[J]. 生态学报, 2021, 41(7): 2895-2901.]
- [26] Yu R H, An J T, Zhang Y, et al. Research on feeding favor in different kinds of shellfish on *Rapana venosa*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2013(4): 61-65. [于瑞海, 安俊庭, 张扬, 等. 脉红螺对不同贝类摄食喜好性的研究[J]. 海洋湖沼通报, 2013(4): 61-65.]

Effects of three kinds of snails on the control of oysters attached to the shell of cultured abalone

WANG Yingpu^{1,2,3}, LI Jiaqi^{2,3}, XUE Suyan^{2,3}, CHANG Lirong⁴, LU Longfei⁴, ZHANG Yitao⁵, MAO Yuze^{2,3}

1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Eco-Environment; Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

3. Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China;

4. National Engineering and Technology Center of Marine Shellfish, Weihai 264316, China;

5. Rongcheng Dongchudao Marine Technology Co., Ltd, Weihai 264312, China

Abstract: *Haliotis discus hannai* Ino is a commercially important marine mollusk with a well-known high nutritional value. During cage cultivation, biofouling organisms such as oysters, sea squirts, coil worms, and barnacles often attach to the shell surface of abalone, subsequently affecting the appearance and commercial value of the abalone. Oysters that attach to the inner wall of the cage also affect the growth and survival of abalone. Because manual removal of biofouling organisms is not possible, prevention and control of oyster growth are difficult in abalone cage cultivation. Currently, two aspects of fouling organism prevention and removal are being studied: Fouling organisms attachment mechanisms and other influencing factors can be reduced on the one hand by lowering the adhesion rate; on the other hand biological control can be achieved by selecting oyster feeding species, co-cultivating with farmed shellfish, and attempting to reduce the number of fouling organisms. In this study, we compared the effects of *Thais clavigera* Kuster, *Ceratostoma rorifluum*, and *Cantharus cecillei* on preventing oysters from attaching to the outer shell of the abalone. Starting in the middle of July, three different types of snails were placed in the cage every 15 days for a total of six times. The cage without snails was taken as the control group. According to the results, at the end of the experiment, the number of surviving oysters on the abalone in the *Cantharus cecillei* group was $(0.04 \pm 0.04)/\text{ind}$, the number of surviving oysters in the *Thais clavigera* Kuster group was $(2.49 \pm 0.91)/\text{ind}$, the number of surviving oysters in the *Ceratostoma rorifluum* group was $(2.21 \pm 1.05)/\text{ind}$, and the number of oysters in the control group was $(3.33 \pm 0.46)/\text{ind}$. The three species of snails were significantly lower than the control group, with *Cantharus cecillei* significantly lower than the other two snail species ($P < 0.05$). The timing of snail addition also affects the effectiveness of the snails in preventing oyster fouling. Late addition of the snails resulted in a significant number of remaining oyster shells. The control effect can be guaranteed when the shell height of the oyster is approximately 0.5 cm. In addition, the dead oyster shell height of the *Cantharus cecillei* group was (0.73 ± 0.27) cm, which was significantly lower than that of the *Thais clavigera* Kuster group (0.88 ± 0.28) cm, the *Ceratostoma rorifluum* group (0.93 ± 0.28) cm, and the control group (0.92 ± 0.24) cm ($P < 0.05$). These results indicate that the size of oysters consumed by *Cantharus cecillei* was smaller than that of the other two snails. The three types of snails had significant control effects, and *Cantharus cecillei* was the most effective in preventing oyster attachment. Oyster control is affected by the time when the three types of snails feed, so it is necessary to choose the appropriate time to release the snails. When a large number of oysters have attached and grown to a certain size, *Thais clavigera* Kuster and *Ceratostoma rorifluum* can supplement *Cantharus cecillei*.

Key words: *Haliotis discus hannai* Ino; raft culture; biofouling; *Ceratostoma rorifluum*; *Thais clavigera* Kuster; *Cantharus cecillei*

Corresponding author: MAO Yuze, E-mail: maoyz@ysfri.ac.cn; LI Jiaqi, E-mail: lijq@ysfri.ac.cn