

# 不同养殖方式对皱纹盘鲍养殖效果及养殖水质的影响

陈俊男<sup>1</sup>, 郭永军<sup>1,2</sup>, 梁 健<sup>1,2</sup>, 李永仁<sup>1,2</sup>, 黄亚冬<sup>3</sup>, 梁 爽<sup>1,2</sup>

(1. 天津农学院天津市水产生态及养殖重点实验室, 天津 300384; 2. 天津市海洋牧场技术工程中心, 天津 300457; 3. 天津市海升水产养殖有限公司, 天津 300270)

**摘要:** 在天津地区对 2.2 cm 左右规格的皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)进行试养殖, 比较了两种养殖模式(笼养与砖养)、两种养殖密度下鲍的存活与生长情况, 以及不同换水频率和不同饲料形状对鲍的生理状态和养殖水质的影响。结果表明: 试养殖 1 个月后, 笼养下的鲍存活率(74.4%)低于砖养(84.0%), 且低密度养殖下鲍的存活率更高; 随着换水频率的增加, 鲍的摄食量逐渐增加, 养殖水体中氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮、化学需氧量的含量均呈减少的趋势; 投喂不同形状饲料的组别间养殖水体氨氮、亚硝酸氮含量差异显著。因此, 砖养模式更适用于作为天津地区鲍养殖的模式, 并且降低密度、提高换水频率有助于改善水质, 改良鲍的摄食、存活状况。

**关键词:** 皱纹盘鲍; 养殖模式; 养殖效果; 水质

中图分类号: S966.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2020)03-0104-09

DOI: 10.11759/hyxx20190624002

鲍是一种具有较高经济价值的水产品。其味道鲜嫩, 营养丰富, 兼具食用价值与药用价值, 在市场上需求量越来越高, 但其野生存储量早已不能满足庞大的市场需求。因此, 世界各产鲍国十分重视鲍的人工育苗以及养殖工作<sup>[1]</sup>。我国鲍养殖业起始于 20 世纪 70 年代, 随后迅速发展壮大, 鲍的人工养殖主要集中于福建、山东和广东三省<sup>[2]</sup>。据第十届国际鲍研讨会(2018 年 5 月, 福建厦门)统计, 2017 年全球鲍养殖总产量 160 987 吨, 其中中国 139 697 吨, 占比近 87%。天津地区的鲍养殖产业尚处于起步阶段, 这是由于渤海湾水质条件较差、鲍养殖模式不成熟、缺乏适宜的鲍养殖品种等多方面因素导致的。因此, 探究适宜于天津地区鲍养殖的养殖模式, 对促进天津地区鲍养殖产业的发展很有必要。

本文研究了鲍养殖过程中的关键因素(附着基、养殖密度、换水量、饲料形状)对鲍生长存活及生理状态的影响, 以及不同换水量下养殖水体自污染因子(氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮、化学需氧量)的浓度变化, 以期探索适宜于天津本地的鲍养殖模式。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 试验生物

试验所用的皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)来

自福建晋江福大鲍养殖公司, 共计 7 680 只(壳长 22.4±3.0 mm, 壳宽 14.4±2.1 mm), 通过内置冰袋的泡沫箱进行保温, 空运至天津。拍照记录壳长、壳宽, 称重后下塘。

#### 1.1.2 饲料类型

本实验所用饲料购自中国福州博海生物技术有限公司, 分为片状饲料和颗粒状饲料两种, 分别配合笼式养殖模式和砖式养殖模式, 片状饲料规格为长: 宽: 厚=40 mm: 40 mm: 2 mm, 颗粒状饲料规格为 20~30 mm。

两种饲料主要成分均为鱼粉、海带粉、豆粕、面粉、啤酒酵母、螺旋藻、甜菜碱、磷酸二氢钙、矿物质、维生素 A、维生素 D3、维生素 E、Vc 酯、

收稿日期: 2019-06-24; 修回日期: 2019-10-27

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS49); 天津市自然科学基金(18JCQNJC84500); 天津市现代产业技术体系贝类养殖岗位(ITTFRS2017013); 天津市水产产业技术体系创新团队项目(ITTFRS2017009); 广东省水产健康安全养殖重点实验室开放基金(GDKLHSA0806)

[Foundation: The Modern Agricultural Industrial Technology System Fund, No. CARS49; Tianjin Natural Science Foundation, No. 18JCQNJC84500; Tianjin Modern Industrial Technology System Fund, No. ITTFRS2017013; Tianjin Aquatic Industry Technology System Innovation Team Project, No. ITTFRS2017009; Key Laboratory of Aquatic Health and Safety Farming Fund, No. GDKLHSA0806]

作者简介: 陈俊男(1996-), 男, 本科生, 水产养殖学专业, Email: 798890196@qq.com; 梁爽(1989-), 男, 通讯作者, 博士, 讲师, 主要从事贝类养殖生理生态研究, Email: liangshuangxmu@126.com

肌醇等。

## 1.2 方法

### 1.2.1 养殖方式

试养殖在两个室内水泥池(6 m×4 m×2 m)中进行, 分别放置两种不同的附着基: 1)黑色 PE 塑料砖(50 cm×38 cm×11 cm)(图 1), 整池共投放 28 片; 2)黑色 PE 塑料

箱(图 2), 由 6 个单独的养殖框(40 cm×32 cm×12 cm)叠成一串, 整池共投放 28 组。

养殖用水取自天津大港独流碱河口海区, 经沉淀、过滤、冷水交换器降温后泵入养殖池。盐度为 33, pH 为 7.8, 温度为 24℃。每天按鲍体重的 3% 投喂饲料。每天早晚 7 点全池换水, 挑出死亡鲍, 清除残饵粪便。



图 1 天津地区皱纹盘鲍砖式养殖模式

Fig. 1 Experiment of culturing *Haliotis discus hannai* in brick cage in Tianjin area

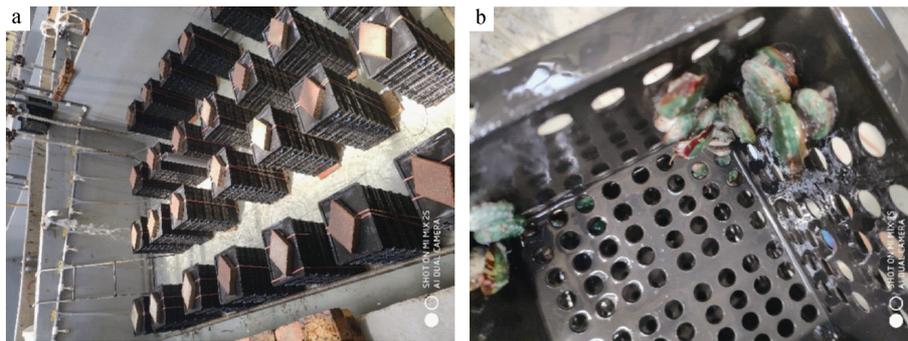


图 2 天津地区皱纹盘鲍笼式养殖模式

Fig. 2 Experiment of culturing *Haliotis discus hannai* in plastic cage in Tianjin area

### 1.2.2 养殖密度

在笼式养殖模式的养殖池内, 设有高(210 只/m<sup>2</sup>)、低(105 只/m<sup>2</sup>)两种养殖密度(各 14 笼)。砖式养殖模式下, 因砖与砖之间并不完全隔离, 故未设置密度实验。

### 1.2.3 鲍的生长与存活率测定

生长指标测定: 于试养殖实验的起始日(6 月 23 日)与结束日(7 月 20 日), 分别从两种养殖模式下的养殖池内随机挑出 50 只鲍, 进行壳长、壳宽和湿重的测定。

存活率测定: 每天换水时挑出死亡的鲍并计数, 统计存活率。

### 1.2.4 不同换水频率

随机取砖式养殖模式下的皱纹盘鲍 180 只, 置

于 6 个 100 L 的 PVC 整理箱中(每箱 30 只), 整理箱依次编号为 1—6, 每箱放置一块塑料砖供鲍附着, 1—3 号箱投喂片状饲料; 4—6 号箱投喂颗粒状饲料。设置 4 个换水频率组(分别为 1 次、2 次、3 次、4 次换水/天, 每次全量更换海水, 持续 3 天)。每日 7:00 进行第一次换水时, 收集并记录上一天剩余的片状饲料重量, 并投喂新鲜饲料(投喂量为试养殖结束时的鲍平均体重的 1%)。实验温度、盐度、pH 与上述试养殖实验相同。

### 1.2.5 鲍的摄食率与耗氧率测定

摄食率测定: 依据上述记录的剩余片状饲料重量, 进行每组每日摄食量计算。

耗氧率测定: 每日换水操作前, 从各整理箱内随机取 3 只鲍, 分别放入 250 mL 广口试剂瓶中, 注满过

滤海水,记录水的体积(平均  $309.1 \pm 5.2$  ml),用干净无菌的塑料薄膜封住瓶口,不加鲍的广口瓶作为海水空白对照,实验进行 1 h,用溶氧仪(型号: 哈希 YSI-550A)测定空白瓶和实验瓶中的溶解氧 DO (mg/L),耗氧率通过下式计算:

耗氧率[mg/(g·h)] =  $V \times (DO_0 - DO_t) / (W \times t)$ , 式中,  $DO_0$  和  $DO_t$  分别为实验结束时空白呼吸瓶和实验瓶中溶解氧浓度(mg/L),  $V$  为呼吸瓶的体积(L),  $W$  为鲍湿重(g),  $t$  为实验时间(h)。

### 1.2.6 水质测定

每天 8:00 和 14:00,采集每个换水频率组水样共 400 mL,以进水口水样作为对照,测定水中氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮、化学需氧量(COD)的浓度<sup>[3]</sup>。每天两组水质指标含量取算术平均值,作为不同换水频率下鲍养殖环境中的水质指标平均含量。

### 1.2.7 数据分析

应用 SPSS 软件中的  $t$ -检验分析不同养殖模式下鲍生长的差异;用单因素方差分析(one-way ANOVA)

分析不同换水量对于鲍的摄食量与耗氧率的影响,以及不同换水量、不同饵料形状对于养殖水质指标的影响;对于方差齐性的数据,用 DUNCAN 法进行两两比较,方差非齐性的数据则使用 Games-Howell 法处理。 $P < 0.05$  认为数据间存在显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 两种养殖模式下皱纹盘鲍养殖存活率和生长情况

经过一个月的试养殖,皱纹盘鲍的养殖存活率曲线如图 3 所示。养殖初期,砖养组和笼养组的鲍存活率均出现明显下降,至第 6 天时分别为 92.1%和 92.3%,随后存活率保持一定时间的平稳下降;第 16~19 天,笼养组鲍存活率呈现较快的下降,由 87.1%降至 77.9%,而砖养组仅在第 19~20 天出现较大幅度下降,由 88.9%下降至 85.9%;随后再次进入平稳下降期直至实验结束。至实验结束时,笼养组鲍存活率为 74.4%,砖养组鲍存活率为 84.0%。

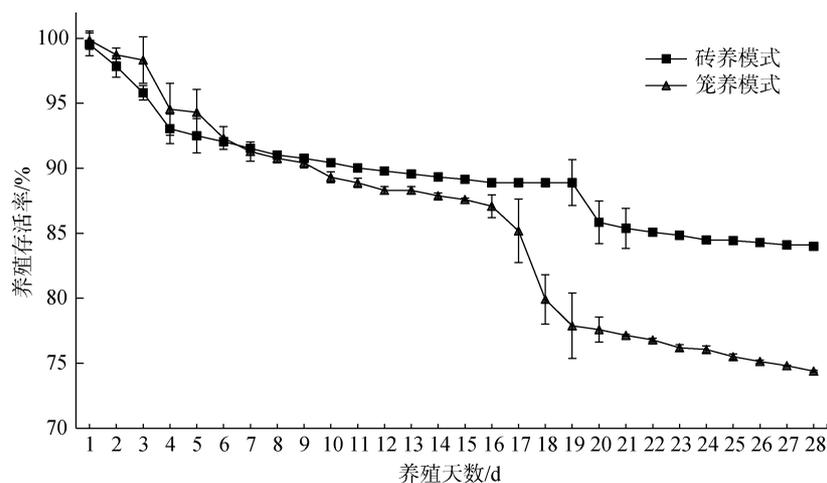


图 3 两种养殖模式下皱纹盘鲍养殖成活率

Fig. 3 Survival rate of *Haliotis discus hannai* under two different factory-aquaculture models

两种养殖模式下皱纹盘鲍的生长数据如表 1: 笼养组和砖养组鲍的壳长、壳宽、湿重与 1 月前的起始值相比均有增加(增长率分别为 7.6%、13.3%、59.3%与 14.4%、21.3%、88.7%)。 $t$ -检验分析显示,砖养组鲍的 3 项生长指标均显著高于笼养组( $P < 0.05$ )。试养殖期间,鲍的壳长、壳宽、湿重的平均增长率(两种模式平均)为 11.0%、17.3%、74.0%,日均增长分别为  $87.7 \mu\text{m}$ ,  $88.8 \mu\text{m}$  和  $32.3 \text{ mg}$ 。

### 2.2 不同养殖密度下皱纹盘鲍的存活率

不同养殖密度下的皱纹盘鲍养殖存活率如图 4 所示。在试养殖过程中,低密度区( $105 \text{ 只} / \text{m}^2$ )的鲍存

活率始终高于高密度区( $210 \text{ 只} / \text{m}^2$ )。试验结束时,低密度养殖区养殖的鲍存活率为 77.9%,高密度养殖区养殖的鲍存活率为 72.6%。

表 1 天津地区皱纹盘鲍试养殖(1 个月)前后生长数据  
Tab. 1 Growth data before and after cultivation of *Haliotis discus hannai* in Tianjin area (1 month)

	壳长/mm	壳宽/mm	湿重/g
起始值	$22.35 \pm 2.96^c$	$14.39 \pm 2.14^c$	$1.22 \pm 0.32^c$
笼养组	$24.05 \pm 2.52^b$	$16.30 \pm 2.22^b$	$1.95 \pm 0.49^b$
砖养组	$25.57 \pm 2.97^a$	$17.46 \pm 2.02^a$	$2.31 \pm 0.72^a$

注:小写字母表示不同组之间的生长指标数据之间存在显著差异

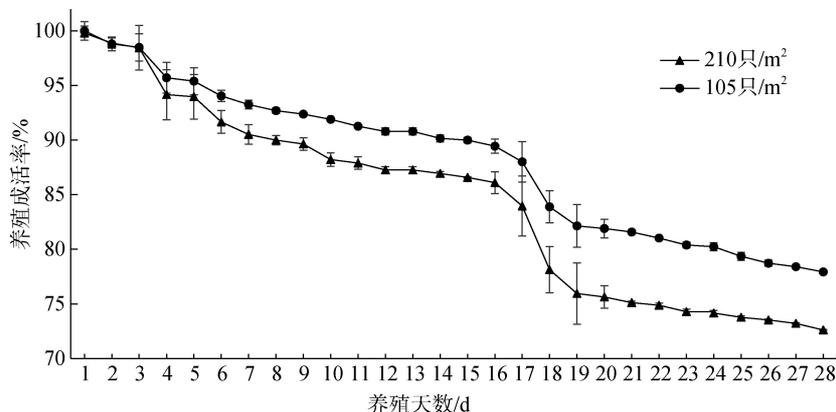


图4 笼式养殖两种养殖密度下的鲍存活率

Fig. 4 Survival rate of *Haliotis discus hannai* in cage culture with two kinds of culture densities

### 2.3 不同换水频率和不同饲料形状对皱纹盘鲍生理状态的影响

#### 2.3.1 不同换水频率和不同饲料形状对皱纹盘鲍死亡率的影响

不同换水频率下片状饲料组的3天死亡率数据如表2所示:第1~2天时,4种换水频率下鲍的死亡率无明显差异;第3天时,4次换水组的鲍死亡率显著高于2~3次换水组;3天累计死亡率的大小排序为:4次换水组>1次换水组>2次换水组>3次换水组。

不同换水频率下颗粒状饲料组的3天死亡率数据如表3所示:第1~3天,不同换水组之间的鲍死亡率无显著差异;随着换水频率的增高,鲍的3天累计死亡率呈下降的趋势。

综合分析表2和表3,可知除4次换水组外,其它换水频率下,颗粒状饲料组的鲍3天累计死亡率均高于片状饲料组。

表2 不同换水频率下片状饲料组的3天累计死亡率  
Tab. 2 Three-day cumulative mortality rate in the flaky feed group with different water change frequencies

组别	片状饲料组死亡率/%			累计
	1d	2d	3d	
1次换水组	2.22±3.85	3.33±3.33	2.22±1.92 <sup>ab</sup>	7.78
2次换水组	2.22±1.92	1.11±1.92	0.00±0.00 <sup>b</sup>	3.33
3次换水组	1.11±1.92	0.00±0.00	0.00±0.00 <sup>b</sup>	1.11
4次换水组	3.33±3.33	1.11±1.92	4.44±1.92 <sup>a</sup>	8.89

注:不同小写字母表示某一天的鲍死亡率在不同换水频率下差异显著

#### 2.3.2 不同换水频率对皱纹盘鲍摄食量的影响

不同换水频率下皱纹盘鲍的摄食量如表4所示:

第1~2天,1~4次换水组的鲍的摄食量之间没有显著差异;至第3天时,4次换水组鲍的摄食量显著高于1~3次换水组,而1~3次换水组中鲍的摄食量之间无显著性差异。4次换水组的鲍摄食量的3天平均值也显著高于1~3次换水组。可见,换水频率从3次增加到4次,皱纹盘鲍的摄食量得到显著提升。

表3 不同换水频率下颗粒状饲料组的3天累计死亡率  
Tab. 3 Three-day cumulative mortality rate in the granular feed group with different water change frequencies

组别	颗粒状饲料组死亡率/%			累计
	1d	2d	3d	
1次换水组	7.78±5.09	8.89±5.09	8.89±3.85	25.56
2次换水组	3.33±3.33	14.44±22.19	2.22±1.92	20.00
3次换水组	5.56±3.85	0.00±0.00	4.44±3.85	10.00
4次换水组	1.11±1.92	1.11±1.92	4.44±5.09	6.67

表4 不同换水频率组中片状饲料的摄食量  
Tab. 4 Feed intake of flaky feed in groups with different water change frequencies

组别	片状饲料组摄食量/g			
	1d	2d	3d	3天平均
1次换水组	1.62±0.68	2.87±0.38	1.68±0.58 <sup>b</sup>	2.06±0.55 <sup>b</sup>
2次换水组	2.50±0.81	1.88±0.40	1.51±0.82 <sup>b</sup>	1.96±0.68 <sup>b</sup>
3次换水组	1.78±1.27	2.80±0.22	1.38±0.59 <sup>b</sup>	1.99±0.69 <sup>b</sup>
4次换水组	3.22±1.50	2.93±1.97	3.41±0.54 <sup>a</sup>	3.19±1.34 <sup>a</sup>

注:不同小写字母表示某一天的鲍耗氧率在不同换水频率下差异显著

#### 2.3.3 不同换水频率和不同形状饲料对皱纹盘鲍耗氧率的影响

不同换水组 and 不同饲料组下皱纹盘鲍的1h耗氧率如图5所示:随着换水频率的提高,鲍的1h耗氧率均呈下降的趋势,具体表现为:在片状饲料组

中, 1、2次换水组的鲍耗氧率显著高于3、4次换水组。在颗粒饲料组中, 1次换水组的鲍耗氧率显著高于4次换水组。仅在4次换水组中, 发现两种饲料组的鲍耗氧率之间出现显著性差异。

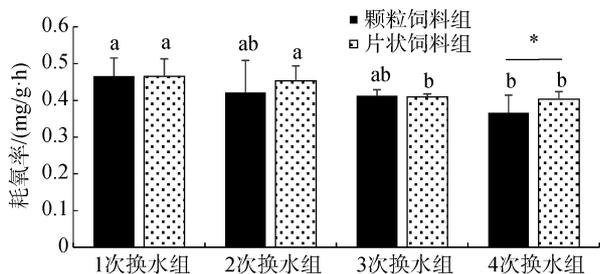


图5 不同换水组和不同饲料组下皱纹盘鲍的耗氧率

Fig. 5 Oxygen consumption of *Haliotis discus hannai* in groups with different water change frequencies and different feeds

注: 不同小写字母表示相同饲料形状组在不同换水频率下差异显著, \*表示相同换水频率下不同饲料形状组之间差异显著

## 2.4 不同换水频率和不同饲料形状对鲍养殖水质的影响

不同换水频率组及不同饲料形状组的氨氮含量如图6所示。由图可见, 随着换水频率的增加, 投喂两种饲料的养殖水体中, 氨氮平均含量均显著减少。相同换水频率下, 两种饲料组之间的氨氮含量无显著差别。

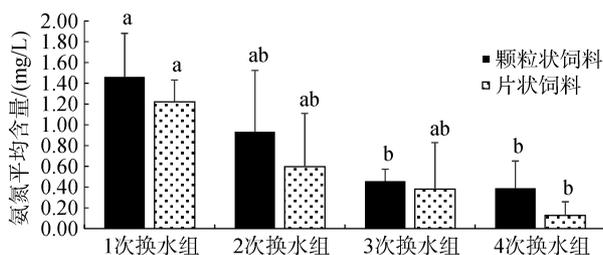


图6 不同换水组和不同饲料组中的氨氮平均含量

Fig. 6 Average content of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N in abalone culture environment in groups with different water change frequencies and different feeds

注: 不同小写字母表示相同饲料形状组在不同换水频率下差异显著

不同换水频率组及不同饲料形状组的亚硝酸氮含量如图7所示。由图可见, 在片状饲料组与颗粒状饲料组中, 随着换水频率的增加, 水体亚硝酸氮平均含量呈降低的趋势。在1次/天的换水频率下, 片状饲料组与颗粒状饲料组的氨氮含量之间有显著差别; 在2~4次/天的换水频率下, 片状饲料组与颗粒状饲料组的氨氮含量之间无显著差别。

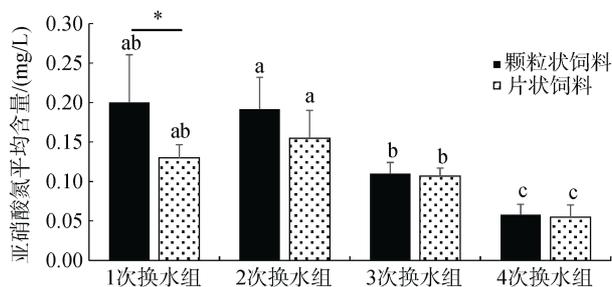


图7 不同换水组和不同饲料组中的亚硝酸氮平均含量

Fig. 7 Average content of NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N in abalone culture environment in groups with different water change frequencies and different feeds

注: 不同小写字母表示相同饲料形状组在不同换水频率下差异显著, \*表示相同换水频率下不同饲料形状组之间差异显著

不同换水频率组及不同饲料形状组的硝酸氮含量如图8所示。由图可见, 在片状饲料组与颗粒状饲料组中, 4次换水组的硝酸氮含量均低于1~3次换水组; 相同换水频率下, 片状饲料组与颗粒状饲料组的硝酸氮含量之间无显著差别。

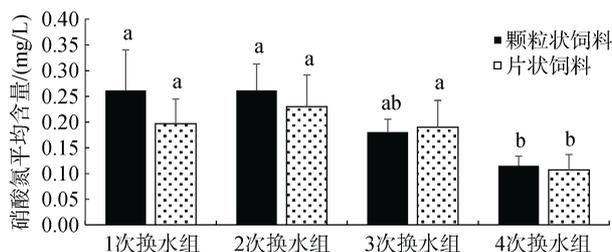


图8 不同换水组和饲料组中的硝酸氮平均含量

Fig. 8 Average content of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N in abalone culture environment in groups with different water change frequencies different feeds

注: 不同小写字母表示相同饲料形状组在不同换水频率下差异显著

不同换水频率组及不同饲料形状组的COD含量如图9所示。由图可见, 在片状饲料组与颗粒状饲料组中, 随着换水频率的增加, COD平均含量均显著减少。在1次/天的换水频率下, 片状饲料组与颗粒状饲料组的COD含量之间有显著差别; 在2~4次/天的换水频率下, 片状饲料组与颗粒状饲料组的COD含量之间无显著差别。

## 3 讨论与结论

### 3.1 两种养殖模式对皱纹盘鲍养殖效果的影响

在本研究中, 将皱纹盘鲍由南方引种至天津后, 采用了笼式(箱式附着基+片状饲料)和砖式(砖式附

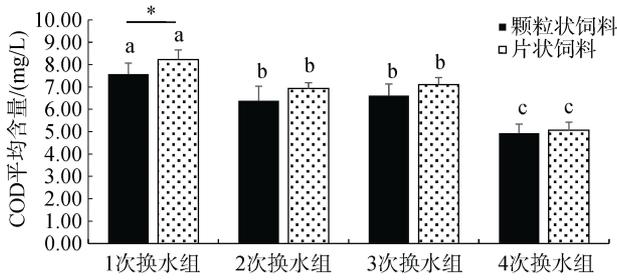


图 9 不同换水组和不同饲料形状组中的 COD 平均含量  
Fig. 9 Average content of chemical oxygen demand (COD) in abalone culture environment in groups with different water change frequencies and different feeds

注: 不同小写字母表示相同饲料形状组在不同换水频率下差异显著, \*表示相同换水频率下不同饲料形状组之间差异显著

着基+颗粒状饲料)两种养殖模式对其进行试养殖,发现在试养殖初期两种养殖模式下的鲍存活率均出现较明显的下降。已有研究表明,养殖生物在引种前期出现死亡现象的最大原因是由运输、放苗等人工操作所引起的应激反应<sup>[1]</sup>;此外,养殖环境、养殖模式及饵料类型的转变,也有可能是导致养殖生物初期死亡率较高的因素<sup>[3-4]</sup>。结合本研究的养殖条件分析,本研究中发现的鲍养殖初期的死亡率下降的情况较大可能是由于应激反应导致的。本研究中还发现在试养殖的第 16~19 天,笼养模式中鲍的存活率出现了明显下降;而在 19~20 天,砖养模式中的鲍同样也出现了这种情况,这可能是由于该时间段长时间降雨,引起外部水源的温、盐波动,以及该时间段养殖场用水量增大,养殖用水的沉淀时间减少引起水质浑浊,无法满足高水质要求。

苏浩等在大连地区养殖规格 2.0 cm 左右的皱纹盘鲍 6 个月(密度 200 只/m<sup>2</sup>左右),壳长日均增长 110 μm,体重日均增长 64.6 mg<sup>[5]</sup>;李昌达等在温州坑道养殖规格 3.0 cm 左右的皱纹盘鲍,3 个月壳长日均增长 56.6 μm,体重日均增长 22.1 mg<sup>[6]</sup>。本研究中所测得的皱纹盘鲍壳长与体重日均增长量,介于两人的实验结果之间。由此可见,本研究中鲍的几组生长数据较为正常,说明鲍在试养殖过程中能够有效地摄食人工饲料,进行生长。此外,随着鲍的生长,壳长减去壳宽的值应该逐渐增加。本研究测得的实际数据并未符合这一常规现象,可能是试养殖结束后统计的样本个数较少的原因。

对比两种养殖模式,笼养的皱纹盘鲍在存活率和生长指标(壳长、壳宽、湿重)上均低于砖养。通过日常更换饵料与清理附着基发现,笼养的养殖箱内

片状饲料经常较为完整,鲍摄食率低,推测片状饲料遇水后质量增大且不易分散并粘黏在养殖框中某处,加上养殖框内隔板阻隔,不利于鲍取食;而砖养投喂的颗粒状饲料质量小、易扩散,相比之下更容易取食。此外,塑料砖更有利于换水时的清理工作<sup>[7]</sup>,而塑料箱的结构相对复杂,死角多,不易清洁,其残留的有机物较多,易污染水质<sup>[8]</sup>,这也是可能导致笼养存活率较低的一个原因。

### 3.2 不同换水频率对皱纹盘鲍养殖水质的影响

随着养殖密度增大,水质条件变差,养殖生物的生长、存活率逐渐降低<sup>[9-11]</sup>。本研究为静水养殖,在换水量较低的情况下,加上残饵、粪便等累积,更容易产生氨氮、亚硝酸盐氮等污染物质,造成水质恶化<sup>[11-12]</sup>,从而对养殖生物造成胁迫,减少其摄饵量<sup>[14]</sup>,这是影响养殖效果的关键因素之一<sup>[15-16]</sup>。本研究中发现,随着换水频率提高,鲍养殖水体中氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮和 COD 含量均出现随换水量的增加而减少的趋势,这与杨风等人的研究相符<sup>[17]</sup>。在不同饲料形状之间,发现在低换水频率(1 次/天)下,颗粒状饲料组的亚硝酸盐氮含量显著高于片状饲料组,这可能是由于颗粒状饲料稳定性相对较差,易分散、分解,在低水交换量的条件下,小水体中自污染因子更易累积,导致亚硝酸盐浓度上升<sup>[18-19]</sup>。

有研究表明,残饵在溶氧丰富的情况下经好氧细菌转化为硝酸盐<sup>[20]</sup>。在稳定性较差的颗粒饲料组中,除 3 次换水组外,其硝酸盐浓度均略高于片状饲料组,虽未达到显著性水平,但从总趋势来看,随着换水频率的降低,颗粒饲料组的硝酸盐浓度明显逐渐高于片状饲料组,这与亚硝酸盐浓度的总变化趋势相似。

COD 的含量同样与残饵和代谢物的累积相关<sup>[21]</sup>,通过提高换水频率,两种饲料组的水体 COD 浓度均有所回落。不同的是,片状饲料组的 COD 浓度在四种换水频率下均高于颗粒饲料组,并在 1 次换水组中达到了显著性水平,这种变化趋势与氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮完全相反。对比生长数据可知,本研究中片状饲料的利用效率低于颗粒状饲料,推测是片状饲料组的水体中残留有机还原物更多,导致 COD 值更高。

### 3.3 不同换水频率对皱纹盘鲍摄食与存活率的影响

随着换水频率的提高,鲍的存活率和摄食量也

总体呈现上升的趋势,推测是因为换水频率的升高改善了水质,而后者则有利于鲍的存活和摄食。值得注意的是,实验初期片状饲料组中4次换水组的死亡率较高(8.89%),这可能是因为本研究所用的鲍取自先前砖式养殖模式下的养殖池,之前一直摄食颗粒状配合饲料,饲料类型的变化导致了初期死亡率较高的结果(不同换水频率的实验起始于4次/天),经过短暂的饲养后,鲍逐渐接受了片状饲料,使死亡率有所回落。除此之外,鲍的死亡率总体随换水频率的提高呈下降的趋势。

此外,由于本实验整体是在有充足外源氧气的条件下进行的。在整个实验过程中,氧气通常不会成为鲍生长发育的限制因素。但本实验发现,鲍的1h耗氧率随换水频率的升高呈降低的趋势,对比测得的水质数据,可能受到养殖水体中氨氮含量的影响。何强等人发现,将养殖生物暴露在高氨水环境下暂养,其耗氧率显著低于正常组<sup>[23]</sup>。本实验中低换水频率下的鲍长期处于高氨的养殖环境中,耗氧率长期处于较低的状态,当转移至较好的水环境(高换水频率)后,氨胁迫暂时得到缓解,出现短期内的耗氧率升高。另外,本研究的结果可以推测,在换水频率较高的情况下,饲料形状可能会影响鲍的耗氧率。

总的来说,随着换水频率的提高,水体中氨氮、亚硝酸氮、硝酸氮和COD浓度均呈下降的趋势,这与鲍死亡率的变化趋势相符。在养殖过程中,随着自污染因子的不断累积,最直观的反馈通常是死亡率提高<sup>[18]</sup>。而本实验中颗粒饲料组的氨氮、亚硝酸氮和硝酸氮浓度普遍略高于片状饲料组,且COD浓度略低于片状饲料组,颗粒饲料组的水体水质更差,死亡率变化幅度更大,随着换水频率的降低,鲍更容易死亡。因此,水质指标的优劣会直接影响鲍死亡率来直观表现。

综上所述,砖式养殖模式可能更适合作为天津地区工厂化养殖鲍的模式,并且降低密度(105只/m<sup>2</sup>)、提高换水频率(每天4次及以上)有助于保持较好的水质,改善鲍的摄食、存活状况。目前天津地区引种鲍养殖存在的限制因子主要为:1)缺乏天然饵料,配合饲料容易污染水质;2)高温气候,外部水温过高;3)缺乏配套的鲍养殖设施,养殖条件差且人工劳动强度大。若改进以上各项,则可保证更好的养殖效果。

#### 参考文献:

[1] 王欣. 崂山湾人工鱼礁区皱纹盘鲍增殖效果的研究[D].

青岛: 中国海洋大学, 2014.

Wang Xin. Study on the proliferation effect of *Haliotis discus hannai* in artificial reef area of Laoshan Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.

[2] 柯才焕. 我国鲍养殖产业现状与展望[J]. 中国水产, 2013, 446(1): 27-30.

Ke Caihuan. Current status and prospects of abalone farming industry in China[J]. Chinese Fisheries, 2013, 446(1): 27-30.

[3] 雷衍之. 养殖水环境化学实验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 50-81.

Lei Yanzhi. Environmental chemistry experiment of aquaculture water[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 50-81.

[4] 张皓, 杜琦, 黄邦钦, 等. 海水网箱养殖容量研究综述[J]. 渔业现代化, 2007, 34(3): 54-56.

Zhang Hao, Du Qi, Huang Bangqin, et al. Review of research on seawater cage culture capacity[J]. Fisheries Modernization, 2007, 34(3): 54-56.

[5] 殷小龙, 李伟业, 柳敏海, 等. 东海带鱼网箱养殖初探[J]. 科学养鱼, 2017, 7: 49.

Yin Xiaolong, Li Weiye, Liu Minhai, et al. Preliminary study on cage culture of fish in the East China Sea[J]. Scientific Fish Culture, 2017, 7: 49.

[6] 苏浩, 蒋辰鸣. 皱纹盘鲍陆上养成条件的研究——I 几种规格鲍饲育密度对生长的影响[J]. 水产科学, 1994, 3: 21-23.

Su Hao, Jiang Chenming. Study on the conditions of onshore cultivation of *A. rufipogon*—I Effect of different density of bud on growth[J]. Fisheries Science, 1994, 3: 21-23.

[7] 李昌达, 许曹鲁, 陈秋萍, 等. 几种规格皱纹盘鲍的饲育密度对生长的影响[J]. 东海海洋, 2000, 1: 57-60.

Li Changda, Xu Caolu, Chen Qiuping, et al. Effects of feeding density on growth of several specifications of abalone[J]. East China Sea Ocean, 2000, 1: 57-60.

[8] 全汉锋, 陈妙祥, 陈胜平, 等. 新型高效鲍养殖设施设计[J]. 渔业现代化, 2012, 39(4): 51-55.

Quan Hanfeng, Chen Miaoxiang, Chen Shengping, et al. Design of a new high-efficiency abalone culture facility[J]. Fisheries Modernization, 2012, 39(4): 51-55.

[9] 徐皓, 倪琦, 刘晔. 我国水产养殖设施模式发展研究[J]. 渔业现代化, 2007, 34(6): 1-6.

Xu Hao, Ni Qi, Liu Huang. Research on the development of aquaculture facilities in China[J]. Fisheries Modernization, 2007, 34(6): 1-6.

[10] McKenzie D J, Glund E H, Dupont-Prinet A, et al. Effects of stocking density and sustained aerobic exercise on growth, energetics and welfare of rainbow trout[J]. Aquaculture, 2012, 338-341: 0-222.

[11] 李建, 姜令绪, 王文琪, 等. 氨氮和硫化氢对日本对

- 虾幼体的毒性影响[J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(1): 22-27.
- Li Jian, Jiang Lingxu, Wang Wenqi, et al. Toxic effects of ammonia nitrogen and hydrogen sulfide on larvae of Japanese shrimp[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2007, 16(1): 22-27.
- [12] 马贵范, 郭文学, 王玲玲, 等. 养殖密度和换水量及频率对凡纳滨对虾生长的影响[J]. 渔业现代化, 2018, 45(4): 21-26.
- Ma Guifan, Guo Wenxue, Wang Lingling, et al. Effects of culture density and water exchange rate and frequency on the growth of *Penaeus vannamei*[J]. Fisheries Modernization, 2018, 45(4): 21-26.
- [13] 吴中华, 刘昌斌, 刘存仁, 等. 中国对虾慢性亚硝酸盐和氨中毒的组织病理学研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 1999, 33(1): 119-122.
- Wu Zhonghua, Liu Changbin, Liu Cunren, et al. Histopathological study on chronic nitrite and ammonia poisoning in Chinese shrimp[J]. Journal of Huazhong Normal University (Natural Science), 1999, 33(1): 119-122.
- [14] 胡志国, 刘建勇, 蒋湘, 等. 浅海筏式养殖中密度对九孔鲍生长的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2013, 33(4): 27-30.
- Hu Zhiguo, Liu Jianyong, Jiang Xiang, et al. Effects of medium density on the growth of *A. chinensis* in shallow sea bream culture[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2013, 33(4): 27-30.
- [15] El-shafai S A, El-gohary F A, Nasr F A, et al. Chronic ammonia toxicity to duckweed-fed tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Aquaculture, 2004, 232(1): 117-127.
- [16] Giese C A. Comparative Physiology: Annual reproductive cycles of marine invertebrates[J]. Annual Review of Physiology, 1959, 21(1): 547-576.
- [17] 浮永久, 煙山彰, 渡辺武. アワビ用試験飼料の基本組成の検討. 日本水産学会誌[J]. 1985, 51(11): 1825-1833.
- Fu Yongjiu, Yan Shanzhang, Du Yuwu. Examination of basic composition of test feed for abalone. Japanese Journal of Fisheries Science[J]. 1985, 51(11): 1825-1833.
- [18] 杨凤, 雷衍之, 王仁波, 等. 皱纹盘鲍自污染及其对幼鲍生长及成活率的影响[J]. 大连水产学院学报, 2003, 1: 1-6.
- Yang Feng, Lei Yanzhi, Wang Renbo, et al. Self-contamination of abalone and its effect on growth and survival rate of juvenile abalone[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2003, 1: 1-6.
- [19] 王武. 鱼类增养殖学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- Wang Wu. Fish aquaculture[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [20] Cheng W, Chen J C. The virulence of enterococcus to freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* and its immune resistance under ammonia stress[J]. Fish and Shellfish Immunology, 2002, 12(2): 0-109.
- [21] 孔谦. 凡纳滨对虾与鲮鱼混养中精养池的理化生物因子的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2010.
- Kong Qian. Study on physical and chemical biological factors of intensive ponds in the mixed culture of *Penaeus vannamei* and carp[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2010.
- [22] 董存有, 张金荣. 对虾塘 COD 的变化及其对对虾生长和产量的影响[J]. 海洋科学, 1993, 17(3): 8-12.
- Dong Cunyou, Zhang Jinrong. Changes of COD in shrimp ponds and their effects on growth and yield of shrimp[J]. Marine Sciences, 1993, 17(3): 8-12.
- [23] 何强, 常玉梅, 苏宝锋, 等. 高碱度和高氨对达里湖瓦氏雅罗鱼耗氧率和排氨率的影响[J]. 生物学杂志, 2016, 33(06): 48-51, 77.
- He Qiang, Chang Yumei, Su Baofeng, et al. Effects of high carbonate alkalinity water and high ammonia water on oxygen consumption and ammonia excretion in *Leuciscus waleckii* Dybowski[J]. Journal Of Biology, 2016, 33(06): 48-51, 77.

# Influence of different culture methods on the feeding, survival, and water quality during *Haliotis discus hannai* aquaculture

CHEN Jun-nan<sup>1</sup>, GUO Yong-jun<sup>1, 2</sup>, LIANG Jian<sup>1, 2</sup>, LI Yong-ren<sup>1, 2</sup>, HUANG Ya-dong<sup>3</sup>, LIANG Shuang<sup>1, 2</sup>

(1. Tianjin Aquaculture Key Laboratory, Tianjin Agricultural College, Tianjin 300384, China; 2. Tianjin Marine Ranching Technical Engineering Center, Tianjin 300457, China; 3. Tianjin Haisheng Aquaculture Limited Company, Tianjin 300270, China)

**Received:** Jun. 24, 2019

**Key words:** *Haliotis discus hannai*; factory-aquaculture model; culture effect; water quality

**Abstract:** In this study, *Haliotis discus hannai* with a size of about 2.2 cm was cultured in Tianjin area. We measured and compared the effects of two culture modes (cage and brick culture), different culture densities, different water change frequencies, and different food types on the growth rate, survival rate, and aquaculture water quality of *Haliotis discus hannai*. After one month of trial culture, the survival rate of abalone in cages (74.4%) was lower than that in bricks (84.0%), and the survival rate of low-density cultured abalone was higher than that of high-density cultured abalone. Increasing the water change frequency caused an increase in the food intake of abalone and a gradual decrease in the amount of ammonia nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, and chemical oxygen demand in the aquaculture water. The content of ammonia nitrogen and nitrite nitrogen was significantly different between the pellet-fed and flake-fed groups. Therefore, the brick raising mode is more suitable than cage culture as a model for aquaculture in Tianjin. Furthermore, reducing the culture density and increasing the frequency of water changes help to improve water quality and improve the feeding and survival of abalone in this region.

(本文编辑: 赵卫红)