

几种环境因子对皱纹盘鲍的胁迫作用及其阈值

魏姗姗^{1,2}, 罗冬莲^{1,2}, 许翠娅^{1,2}, 杨妙峰^{1,2}, 郑盛华^{1,2},
郑惠东^{1,2}, 陈月忠^{1,2}, 钱小明^{1,2}

(1. 福建省水产研究所, 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室, 福建 厦门 361013; 2. 福建省海洋生物资源开发利用协同创新中心, 福建 厦门 361013)

摘要: 针对福建等海域养殖皱纹盘鲍度夏死亡率高的现象, 试验研究了不同盐度、温度和溶解氧条件, 对皱纹盘鲍幼鲍和 1 龄鲍死亡率的影响, 并根据试验结果设定了皱纹盘鲍海上养殖盐度、温度和溶解氧预警阈值。结果表明: 低盐胁迫对皱纹盘鲍的死亡率影响显著, 在水温 24~27℃时, 盐度 20 是幼鲍和 1 龄鲍试验组和对照组死亡率有显著差异的临界点, 盐度预警阈值为 22; 高温胁迫对皱纹盘鲍的死亡率影响显著, 温度 28℃是幼鲍和 1 龄鲍试验组和对照组死亡率有显著差异的临界点, 温度预警阈值为 27℃; 皱纹盘鲍有较强的耐低氧能力, 在水温 26℃, 盐度为 30, 溶解氧低于 2.0 mg/L 时, 开始大量死亡, 溶解氧预警阈值为 3.5 mg/L; 高温胁迫和低盐胁迫对皱纹盘鲍的死亡率有显著的交互作用, 温度升高, 低盐耐受能力下降。

关键词: 皱纹盘鲍; 温度; 盐度; 溶解氧; 预警阈值

中图分类号: S917 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2018)12-0047-08

DOI: 10.11759/hyxx20180824001

皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai* Ino)是我国重要的冷水性海水养殖贝类, 自然分布于辽东与山东半岛, 随着养殖技术的不断完善, 目前已在福建省大规模养殖, 2016 年福建鲍养殖产量约占全国总产量 80%^[1]。但是, 福建省的皱纹盘鲍的养殖瓶颈是易在夏季发生大规模死亡。相关研究揭示水温、盐度和溶解氧是影响皱纹盘鲍死亡的主要环境因子。温度研究主要是关于鲍属贝类的温度耐受性及高温对其生长和生理生化活动的影响^[2-12], 其中有研究指出高温胁迫可能是引起皱纹盘鲍夏季大规模死亡的主要原因^[10]。盐度研究表明盐度变化对鲍属贝类的生理、免疫、遗传表达均有影响^[13-17], 低盐胁迫能显著影响其死亡率^[16]。溶解氧相关研究较少^[18-19], 有研究发现低氧胁迫下, 九孔鲍死亡率上升且机体抗病力显著下降^[18]。国内尚未见溶解氧对皱纹盘鲍相关影响的研究报道。福建省夏季具有气温高、降雨集中、降水量大的特点, 近岸养殖水域容易出现高温、低盐、低氧, 这正是夏季皱纹盘鲍发生大规模死亡的常见水体环境, 本研究针对这一状况, 在室内模拟高温、低盐、低溶解氧这三种环境胁迫条件, 研究皱纹盘鲍幼鲍、1 龄鲍的耐受阈值。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用幼鲍和 1 龄鲍均取自福建省东山湾海域, 采集时间为 2015 年 4 月~12 月, 试验前先将试验材料置于循环水槽中暂养 1 周以上, 暂养期间水温为(23.0±0.5)℃, 盐度为 30.0±0.1, pH 为 8.00±0.10, DO 为 7.00±0.10, 24 h 充气, 1 龄鲍暂养密度为 20 个/30L, 幼鲍暂养密度为 20 个/15L, 期间每天喂食新鲜江篱(*Gracilaria* sp.)。本文的幼鲍选择常见的皱纹盘鲍幼苗的商品规格, 幼鲍(壳长 1.7~2.9 cm, 月龄: 3~4 个月), 1 龄鲍(壳长 4.8~7.2 cm), 具体生物学参数测定结果如表 1 所示。试验所用海水取自厦门海域, 经沉

收稿日期: 2018-08-24; 修回日期: 2018-11-21

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1406306); 福建省海洋与渔业结构调整项目(2019HYJG07, 2019HYJG10); 福建省属公益类科研院所基本专项(2018R1003-8)

[Foundation: The National Key Research and Development Program of China, No. 2018YFC1406306; Marine and Fishery Structural Adjustment Program in Fujian Province, No. 2019HYJG07, No. 2019HYJG10; Fundamental Special Program of Public Welfare Scientific Research Institutions in Fujian Province, No. 2018R1003-8]

作者简介: 魏姗姗(1986-), 女, 研究员实习员, 硕士, 从事渔业生态环境研究, E-mail: 360791078@163.com; 罗冬莲(1969-), 通信作者, 女, 教授级高工, 从事渔业生态环境研究, E-mail: 295807046@qq.com

淀沙滤后使用, 自然海水盐度为 27.0 ± 2.0 , pH 为 7.90 ± 0.20 , 再用海水晶和经曝气处理的自来水调节

盐度。实验期间用多参数分析仪进行测定水温、盐度、pH 和溶解氧, 外控加热棒控制试验水温。

表 1 供试皱纹盘鲍的生物学参数

Tab. 1 Biological parameters of *Haliotis discus hannai*

参数	幼鲍				1 龄鲍			
	最小值	最大值	平均值	标准偏差	最小值	最大值	平均值	标准偏差
壳长/cm	1.7	2.9	2.2	0.3	4.8	7.2	5.9	0.6
壳宽/cm	1.2	1.8	1.5	0.2	3.2	4.9	4.0	0.4
全湿重/g	0.4	2.8	1.4	0.6	10.3	46.8	24.3	8.5

1.2 试验设计

水温和盐度梯度的设置参考前人的研究结果^[16, 20]、养殖区的可能出现的极端环境状况及预试验的结果设定, 试验天数主要是根据养殖区已报道的出现大规模死亡的极端天气状况持续天数设定。

皱纹盘鲍死亡的判定标准: 腹足无自主吸附力, 通常腹足朝上, 无法翻转, 个别靠物理吸附力附着但脱落后无法再吸附; 触手伸出, 碰触手后无伸缩反应或伸缩反应很轻微。

1.2.1 低盐胁迫试验

1 龄鲍和幼鲍均设置盐度 14、16、18、20、22、24、26、30(对照组)8 个组, 3 平行, pH、温度、密度同暂养期间。

1.2.2 高温胁迫试验

1 龄鲍和幼鲍均设置水温 32°C 、 31°C 、 30°C 、 29°C 、 28°C 、 27°C 、 26°C 、 24°C (对照组), 8 个组, 3 平行, 从暂养温度直接升温至试验温度, 各组温度保持在试验温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 盐度、密度同暂养期间。

1.2.3 高温低盐胁迫试验

1 龄鲍和幼鲍均设置盐度 16、18、20、22、24、26、30(对照组)7 个组, 温度均设置 30°C 、 27°C 、 24°C (对照组)3 个组, 均设 3 平行, 其中, 27°C 和 30°C 试验组, 每天调高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 直至达到试验温度, 密度同暂养期间。

以上三项实验, 均持续观察 10 d, 期间每天清洗并换水, 定时投喂江蓠, 不间断充气, 每天观察 3~5 次, 并及时取出死亡个体。

1.2.4 低氧胁迫试验

1 龄鲍试验密度设 10 个/20L、20 个/20L(对照组)和 30 个/20L; 幼鲍试验密度设 20 个/15L(对照组)、30 个/15L、40 个/15L 和 50 个/15L, 均设 3 平行。试验期间仅对照组充气并每天换水 1 次, 其他试验组

不充气、不换水。试验期水温 $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 盐度为 30, 持续 2 d。每小时观察并及时取出死亡个体。

1.3 统计分析

各实验组均以 3 个平行组死亡率的数学平均值作为该试验组的死亡率。用 SPSS(v17.0)软件进行数据相关性与单因素方差分析, 组间差异分析采用 Games-Howell 方法, 双因素方差分析, 采用单变量线性的交互模型。

2 结果

2.1 低盐胁迫与皱纹盘鲍死亡率的关系

低盐胁迫试验结果见图 1, 皱纹盘鲍对低盐胁迫反应激烈, 盐度 14 的试验组, 幼鲍和 1 龄鲍 2 d 的死亡率均达 100%; 盐度 16 的试验组, 幼鲍和 1 龄鲍的死亡率急剧上升, 其中幼鲍 2 d 的死亡率超过 50%, 5 d 的死亡率达到 93%, 1 龄鲍 2 d 的死亡率超过 40%, 5 d 的死亡率达到 100%。而盐度高于 18 的试验组, 皱纹盘鲍的死亡率显著下降, 且各试验组均表现为随着盐度的降低, 幼鲍和 1 龄鲍的死亡率均呈缓慢上升之势, 盐度高于 22 试验组幼鲍和 1 龄鲍的死亡率均低于 10%。单因素方差分析显示: 幼鲍和 1 龄鲍试验组与对照组的死亡率差异, 盐度低于 16 时差异极显著($P < 0.01$), 盐度 18 时差异显著($P < 0.05$), 盐度高于 22 时差异不显著; 盐度 20 时, 幼鲍试验组与对照组死亡率差异不显著, 1 龄鲍试验组与对照组差异显著($P < 0.05$)。盐度 20 是皱纹盘鲍试验组与对照组死亡率有显著差异的临界点。

2.2 高温胁迫与皱纹盘鲍死亡率的关系

高温胁迫试验结果见图 2, 皱纹盘鲍对高温胁迫反应强烈, 水温为 31°C 和 32°C 的试验组, 幼鲍和 1 龄鲍 2 d 的死亡率均达 100%; 水温 29°C 试验组, 幼

鲍和 1 龄鲍的死亡率随时间增长急剧上升, 其中幼鲍 2d 的死亡率为 19%, 5 d 死亡率达 46%, 1 龄鲍 2 d 的死亡率为 98%; 而水温低于 28℃ 的试验组, 幼鲍和 1 龄鲍的死亡率显著下降, 且各试验组均表现为随温度上升, 皱纹盘鲍的死亡率呈缓慢升高之势, 27℃ 的试验组幼鲍和 1 龄鲍的死亡率均低于 5%。单因素

方差分析显示: 幼鲍和 1 龄鲍试验组与对照组的死亡率差异, 在水温高于 29℃ 时差异极显著($P<0.01$), 水温低于 27℃ 差异不显著; 水温 28℃ 时, 幼鲍试验组与对照组死亡率差异不显著, 1 龄鲍试验组与对照组差异显著($P<0.05$)。水温 28℃ 是皱纹盘鲍试验组与对照组死亡率有显著差异的临界点。

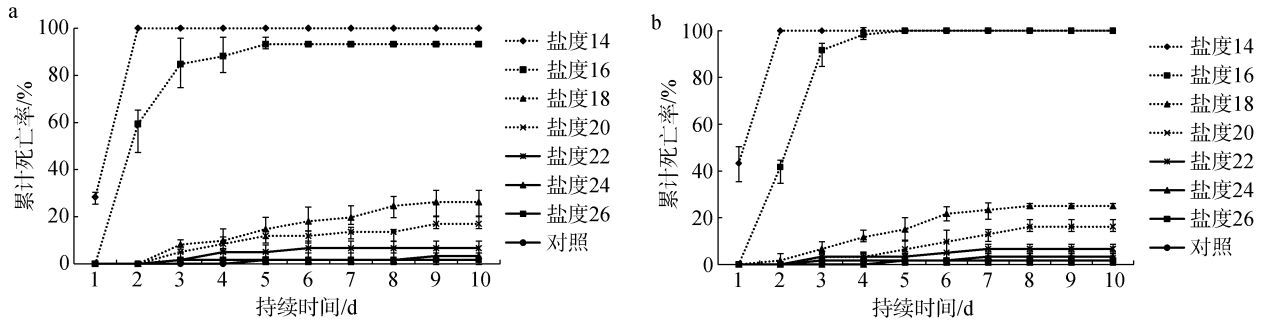


图 1 低盐胁迫与皱纹盘鲍死亡率的关系

Fig. 1 Effect of low salinity on mortality of *Haliotis discus hannai*

注: 子图 a: 幼鲍; b: 1 龄鲍

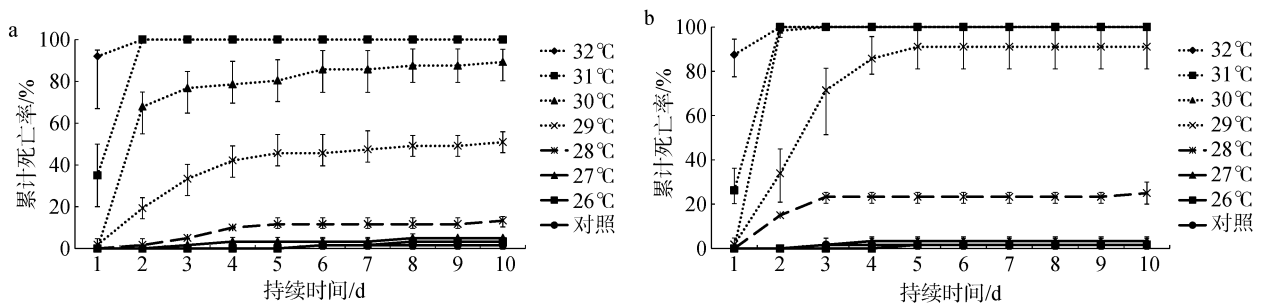


图 2 高温胁迫与皱纹盘鲍死亡率的关系

Fig. 2 Effect of high temperature on mortality of *Haliotis discus hannai*

注: 子图 a: 幼鲍; b: 1 龄鲍

2.3 高温低盐胁迫皱纹盘鲍死亡率的关系

高温低盐胁迫试验结果见图 3, 皱纹盘鲍对高温和低盐胁迫反应的总体趋势还是随着温度的上升和盐度的降低, 死亡率上升。水温 24℃、27℃ 盐度高于 22 的试验组, 幼鲍和 1 龄鲍的死亡率均低于 10%, 与前面的高温、低盐实验结果基本一致。但是, 在高温和低盐联合作用下, 皱纹盘鲍的死亡率显著高于单高温或单低盐条件, 仅 27℃ 高温胁迫下, 1 龄鲍的死亡率为 5%, 仅盐度 18 的低盐胁迫下, 1 龄鲍的死亡率为 25%, 同时受 27℃ 高温和盐度 18 的低盐胁迫时, 1 龄鲍的死亡率高达 97%。双因素方差分析显示, 在温度(24~30℃), 盐度(16~30)范围内, 温度和盐度的交互作用对

皱纹盘鲍幼鲍和 1 龄鲍的死亡率影响极显著($P<0.01$)。

2.4 低氧胁迫与皱纹盘鲍死亡率的关系

低氧胁迫试验结果见图 4, 在水温 26℃, 盐度为 30 的条件下, 随着实验持续时间的增加, 水中溶解氧(DO)降低, 低至一定程度, 皱纹盘鲍开始出现应激反应, 大量爬至水面附近, 一段时间后死亡。皱纹盘鲍幼鲍和 1 龄鲍分别在 DO 低于 2.5 mg/L 和 2.0 mg/L 时, 应激反应明显, 继续低至 2.0 mg/L 和 1.5 mg/L, 死亡率激增。幼鲍和 1 龄鲍的开始大量死亡的时间分别是第 12~16 h 和第 6 h, 高密度组, DO 下降更快, 死亡更快。单因素方差分析显示各个试验组的死亡率均与对照组均有显著差异($P<0.05$)。

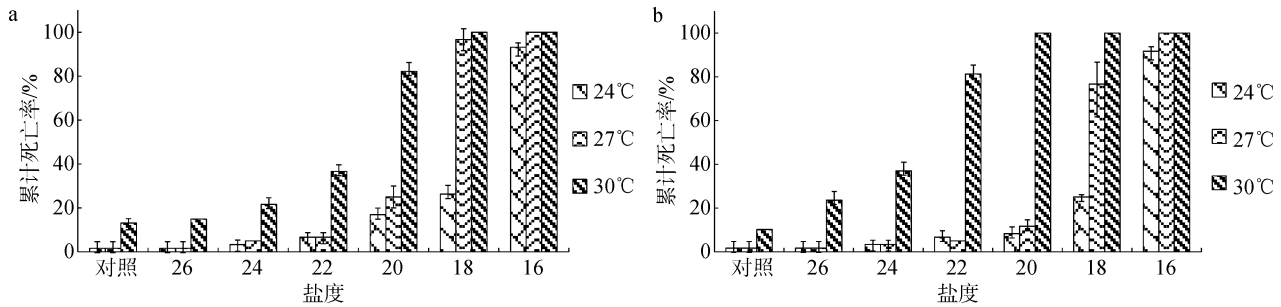


图3 高温低盐胁迫与皱纹盘鲍死亡率的关系

Fig. 3 Effect of high temperature and low salinity on mortality of *Haliotis discus hannai*

注: 子图 a: 幼鲍; b: 1 龄鲍

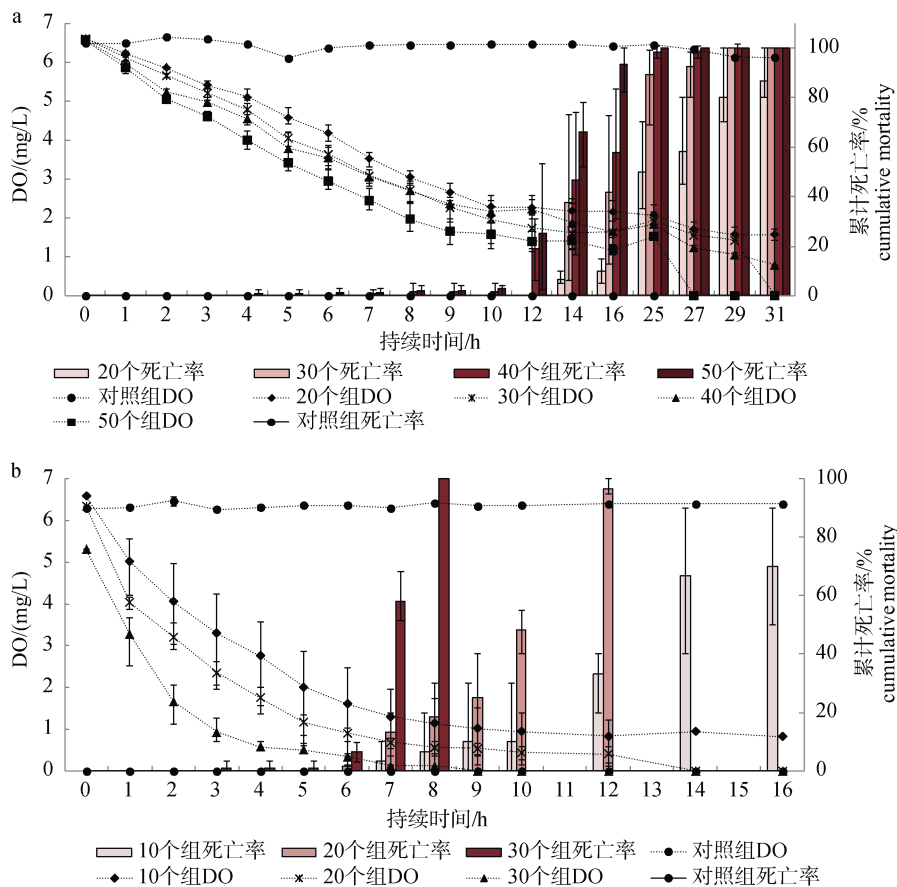


图4 低氧胁迫与皱纹盘鲍死亡率的关系

Fig. 4 Effect of hypoxia on mortality of *Haliotis discus hannai*

注: 子图 a: 幼鲍; b: 1 龄鲍

3 分析与讨论

3.1 低盐胁迫对皱纹盘鲍的影响

低盐胁迫会造成水生动物体内渗透压改变, 破坏细胞内的离子代谢, 导致机体蛋白合成紊乱, 甚至死亡^[21-22], 但在一定盐度范围内, 贝类对盐度变化有一定适应性^[23]。本研究结果表明低盐胁迫对皱

纹盘鲍的死亡率影响显著, 盐度低于 18 时, 其养殖死亡率急剧上升, 幼鲍和 1 龄鲍 5 d 的死亡率均超过 93%, 盐度高于 18 时, 死亡率随盐度的降低而缓慢上升。本研究表明, 盐度 20 是皱纹盘鲍的低盐阈值, 这与王邵雯等人的研究结果基本一致。王邵雯^[16]的研究表明皱纹盘鲍幼鲍在温度 20℃, 盐度 16 和 20 试验的 10 d 的死亡率分别为 100%和 26%, 盐度低于

20 时死亡率急剧上升; Han^[24]等的研究也表明当盐度低于 20 时, 皱纹盘鲍幼鲍的死亡率显著提高。由于养殖区环境条件复杂, 我们认为在水温 24℃~27℃的养殖条件下, 皱纹盘鲍的盐度预警阈值应设为 22。

3.2 高温胁迫对皱纹盘鲍的影响

海洋贝类在高温胁迫下, 会导致机体的能量平衡受到破坏, 机体会分配更多的能量用于免疫反应, 从而导致其他正常生物功能如生殖, 生长甚至存活受到影响^[25-26]。本研究的高温胁迫试验结果表明, 短时大幅升温对皱纹盘鲍影响很大, 皱纹盘鲍幼鲍和 1 龄鲍的死亡率明显上升, 突变幅度越大, 死亡率越高; 水温 28~30℃试验组的死亡率呈现先急剧上升、后趋于平稳的现象, 这可能与皱纹盘鲍在一定范围内对温度的调节适应有关, 温度突变情况下, 水温 28℃是皱纹盘鲍高温阈值。皱纹盘鲍是冷水种类, 对高温的适应能力较差, 吴富村等^[27]研究通过杂交的手段获得的皱纹盘鲍杂交鲍适温上限得到一定程度的提高, 但是在南方的高温下其死亡率还是较高。陈添铮等^[28]在福建连江养殖区调查表明, 7~9 月平均水温高于 28℃时, 皱纹盘鲍杂交鲍死亡率较其它月份显著上升。郑进春等^[29]调查发现, 2009 年 8 月古雷皱纹盘鲍吊养区 29℃以上高温持续 10 d 左右, 皱纹盘鲍发生了大规模死亡。林思恒等^[10]调查也表明, 夏季随着温度上升, 海上养殖区皱纹盘鲍的死亡率也明显上升, 水温最高的月份, 死亡率也最高, 2014 年三沙湾霞浦皱纹盘鲍养殖区, 7~10 月水温均高于 25℃, 在九月时水温达到最高为 28.5℃, 从 4 月开始到 10 月的累计死亡率达 50%。结合试验结果和养殖海区实际情况, 我们认为在盐度 30 的养殖条件下, 皱纹盘鲍的温度预警阈值应设为 27℃。

3.3 高温低盐胁迫对皱纹盘鲍的影响

本研究的高温低盐胁迫试验表明, 当盐度低于 20 时, 皱纹盘鲍的死亡率明显随着水温的升高而升高, 温度升高皱纹盘鲍的低盐耐受能力下降, 这与李俊元^[20]的研究结果基本一致。高温低盐的联合作用条件下, 幼鲍和 1 龄鲍的死亡率显著升高, 温度和盐度对皱纹盘鲍的死亡率影响有显著的交互作用。

3.4 低氧胁迫对皱纹盘鲍的影响

低氧的水环境会影响贝类的行为、耗氧率、生长、免疫应答和存活率, 在低氧环境中暴露一段时间,

将对贝类免疫系统及抗病能力造成严重损害, 甚至导致贝类死亡^[30-31]。水生动物的低氧研究通常是采用往水体中充氮气与氧气调节水中的溶解氧含量^[18], 使水中溶解维持在一定水平。夏季皱纹盘鲍大量死亡的主要环境特征是持续高温、低压, 水交换弱, 溶解氧得不到有效补充, 为了更贴近海区实际, 溶解氧试验过程中不充气, 模拟溶解氧难以快速补充的环境, 使水中溶解氧通过呼吸耗氧, 代谢废物的分解耗氧而自然降低。

本研究的低氧胁迫试验结果表明, 在水温 26℃, 海水盐度为 30 的条件下, 皱纹盘鲍有较强的耐低氧能力, 密度越低, 溶解氧下降越慢, 开始大量死亡的时间也越晚, 当水体中溶解氧低于 2.5 mg/L 时, 皱纹盘鲍有明显的应激反应, 水体中的溶解氧低于 2.0 mg/L, 死亡率才显著升高。陈政强等^[18]研究认为九孔鲍 (*Haliotis diversicolor supertexta*) 在低氧胁迫下, 短时间内能忍受 2.5 mg/L 的低氧, 但是其免疫防御能力显著下降。Cheng 等^[32]的研究也表明溶解氧低于 2.0 mg/L 时才会导致九孔鲍大量死亡。在试验过程中死亡的皱纹盘鲍能及时被捞出, 避免了对试验水体的污染, 但在实际养殖海区, 发生大规模死亡的皱纹盘鲍往往不能及时被打捞, 死亡皱纹盘鲍的腐败易引起溶解氧降低和水质迅速恶化, 造成恶性循环。另外, 夏季持续的高温、偏低的气压, 经常出现长时间的无风环境, 海水交换较弱, 水体中有机物分解大量耗氧, 加上大量污损生物堵塞养殖笼孔洞, 极易造成皱纹盘鲍养殖低溶解氧环境^[33]。吴文婵等^[34]2010 年 6 月调查监测后才里海区内的部分鲍鱼养殖区时发现海水中的溶氧量仅为 2.4 mg/L, 比正常情况下低一半左右, 造成大量鲍鱼缺氧死亡。冯显逵^[35]认为鲍鱼养殖过程中溶解氧一般应高于 4 mg/L, 不应低于 3.5 mg/L, 若低于 3.5 mg/L, 需加大供气量。结合试验结果和养殖海区实际情况, 我们认为皱纹盘鲍的溶解氧预警阈值应设为 3.5 mg/L。

参考文献:

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017: 27.
Fishery Bureau Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. China fishery Statistics Yearbook-2017[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017: 27.
- [2] 张明, 王志松, 高绪生. 不同生长期皱纹盘鲍对水温适应能力的比较[J]. 中国水产科学, 2005, 12(6): 720-725.

- Zhang Ming, Wang Zhisong, Gao Xusheng. Comparison on adaptability of abalone *Haliotis discus hannai* Ino to temperatures at different growing stages[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(6): 720-725.
- [3] 贾艳丽, 王江勇, 刘广锋, 等. 高温胁迫对皱纹盘鲍幼鲍生长和成活的影响[J]. 南方水产科学, 2015, 11(2): 96-100.
Jia Yanli, Wang Jiangyong, Liu Guangfeng, et al. Effect of high temperature stress on growth and survival of juvenile *Haliotis discus hannai* Ino[J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(2): 96-100.
- [4] 邓岳文, 刘晓, 张国范. 皱纹盘鲍基因型与环境互作的初步研究[J]. 海洋科学, 2005, 29(12): 31-34.
Deng Yuewen, Liu Xiao, Zhang Guofan. Genotype-environment interaction of growth in *Haliotis discus hannai*[J]. Marine Sciences, 2005, 29(12): 31-34.
- [5] 李亮. 杂交鲍温度耐受性研究[D]. 济南: 山东大学, 2017.
Li Liang. Study on temperature tolerance of hybrid abalone[D]. Jinan: Shandong University, 2017.
- [6] Cheng W, Hsiao I S, Hsu C H, et al. Change in water temperature on the immune response of Taiwan abalone *Haliotis diversicolor supertexta* and its susceptibility to *Vibrio parahaemolyticus*[J]. Diseases of Aquatic Organisms, 2004, 17(3): 235-243.
- [7] 梁爽, 骆轩, 游伟伟, 等. 温度骤变对皱纹盘鲍与西氏鲍及其杂交群体的热休克蛋白表达影响[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2013, 52(5): 697-702.
Liang Shuang, Luo Xuan, You Weiwei, et al. Effect of acute temperature change on the expression of HSPs in *Haliotis discus hannai*, *Haliotis gigantea* and their hybrids[J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2013, 52(5): 697-702.
- [8] Ben-Horin T, Lenihan H S, Lafferty K D. Variable intertidal temperature explains why disease endangers black abalone. [J]. Ecology, 2013, 94(1): 161-168.
- [9] 姜妮妮, 方建光, 李加琦, 等. 温度胁迫对皱纹盘鲍生理和生化活动的影响[J]. 中国水产科学, 2017, 24(2): 220-230.
Jiang Weiwei, Fang Jianguang, Li Jiaqi, et al. Effects of temperature change on physiological and biochemical activities of *Haliotis discus hannai* Ino[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(2): 220-230.
- [10] 林思恒. 皱纹盘鲍度夏死亡与高温胁迫响应的分子机制研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2016.
Lin Siheng. Study on summer mortality and molecular response to heat stress in the pacific Abalones *Haliotis discus hannai* [D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2016.
- [11] 林思恒, 吴富村, 张国范. 高温胁迫下皱纹盘鲍不同养殖群体心率变化比较[J]. 海洋科学, 2016, 40(11): 84-90.
Lin Siheng, Wu Fucun, Zhang Guofan. Variation in cardiac response to thermal stress in two different cultured populations of Pacific abalones [J]. Marine Sciences, 2016, 40(11): 84-90.
- [12] 姜永华, 颜素芬, 严正凛. 温度和 pH 对杂色鲍消化酶活力的影响[J]. 海洋科学, 2012, 36(2): 11-18.
Jiang Yonghua, Yan Sufen, Yan Zhenglin. Effect of temperature and pH on the activity of digestive enzymes in *Haliotis diversicolor* Reeve [J]. Marine Sciences, 2012, 36(2): 11-18.
- [13] 孔宁, 连建武, 薛艳洁, 等. 水温和盐度对皱纹盘鲍“97”选群第 6 代变态及变态幼体生长存活的影响[J]. 海洋科学, 2016, 40(10): 49-54.
Kong Ning, Lian Jianwu, Xue Yanjie, et al. Effects of water temperature and salinity on metamorphosis, post-larval survival, and growth of the sixth generation of “97” selective breeding population of *Haliotis discus hannai* Ino [J]. Marine Sciences, 2016, 40(10): 49-54.
- [14] 钱佳慧, 栗志民, 刘建勇, 等. 盐度和胁迫时间对九孔鲍 α -淀粉酶基因表达量的联合效应分析[J]. 中国水产科学, 2017, 24(1): 57-64.
Qian Jiahui, Li zhimin, Liu Jianyong, et al. Synergistic effects of salinity and stress duration on alpha-amylase expression in *Haliotis diversicolor supertexta*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(1): 57-64.
- [15] 时少坤, 王瑞旋, 王江勇, 等. 盐度渐变对杂交鲍免疫因子的影响[J]. 广东农业科学, 2013, 40(12): 136-139.
Shi Shaokun, Wang Ruixuan, Wang Jiangyong, et al. Effects of salinity change on immune factors of hybrid abalone (*Haliotis discus hannai* Ino)[J]. Journal of Guangdong Agricultural Science, 2013, 40(12): 136-139.
- [16] 王邵雯. 皱纹盘鲍对海水盐度的耐受性分析[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2012.
Wang Shaowen. Analysis of the toleration to different salinities in *Haliotis discus hannai* Ino[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2012.
- [17] Edwards S. Assessment of the physiological effect of altered salinity on greenlip (*Haliotis laevigata*) and blacklip (*Haliotis rubra*) abalone using respirometry[J]. Aquaculture Research, 2003, 34(14): 1361-1365.
- [18] 陈政强, 陈昌生, 战文斌. 低氧胁迫对九孔鲍免疫防御因子的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(11): 1739-1747.
Chen Zhengqiang, Chen Changsheng, Zhan Wenbin. Effect of hypoxia on the immune response of the abalone *Haliotis diversicolor supertexta* and its susceptibility to pathogen *Vibrio parahaemolyticus*[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(11): 1739-1747.
- [19] Cheng W, Li C H, Chen J C. Effect of dissolved oxygen

- on the immune response of *Haliotis diversicolor supertexta* and its susceptibility to *Vibrio parahaemolyticus*[J]. *Aquaculture*, 2004, 232(1-4): 103-115.
- [20] 李俊元. 不同温度条件下皱纹盘鲍幼鲍对低盐胁迫的响应及渗透压调节机制的初步研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2015.
- Li Junyuan. Response of *Haliotis discus hannai* Ino exposed to low salinity at different temperatures and preliminary study on osmoregulatory mechanism[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2015.
- [21] 于姗姗, 王青林, 孟宪亮, 等. 盐度骤变对仿刺参 hsp70 及 hsp90 基因表达的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2012, 42(9): 22-27.
- Yu Shanshan, Wang Qinglin, Meng Xianliang, et al. Effect of salinity fluctuation on the expression of hsp70 and hsp90s genes in sea cucumber *Apostichopus japonicus* selenka[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2012, 42(9): 22-27.
- [22] 阎希柱, 王桂忠, 李少菁. 盐度对九孔鲍能量收支的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(8): 1520-1526.
- Yan Xizhu, Wang Guizhong, Li Shaojing. Effects of water salinity on energy budget of *Haliotis diversicolor aquatilis*[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(8): 1520-1526.
- [23] 饶科, 黄明坚, 章逃平, 等. 盐度与 pH 对 3 种南方贝类呼吸率和钙化率的影响[J]. 水生态学杂志, 2014, 35(4), 74-80.
- Rao Ke, Huang Mingjian, Zhang Taoping, et al. Effects of salinity and Ph on respiration and calcification of three kind of shellfish in southern china[J]. *Journal of Hydroecology*, 2014, 35(4), 74-80.
- [24] Han K L, Min H J, Min B H, et al. Survival rate and oxygen consumption patterns with respect to salinity changes in juvenile abalone[J]. *Animal Cells & Systems the Official Publication of the Zoological Society of Korea*, 2014, 18(6): 380-386.
- [25] Adamo S A. How should behavioral ecologists interpret measurements of immunity?[J]. *Animal Behaviour*, 2004, 68(6), 1443-1449.
- [26] Soletchnik P, Faury N, Goulletquer P. Seasonal changes in carbohydrate metabolism and its relationship with summer mortality of Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) in Marennes-Oléron bay (France)[J]. *Aquaculture*, 2006, 252(2-4), 328-338.
- [27] 吴富村, 张国范. 皱纹盘鲍杂交幼鲍闽东内湾度夏初探[J]. 海洋科学, 2009, 33(10): 9-14.
- Wu Fucun, Zhang Guofan. Preliminary study on over-summering of juvenile hybrid Pacific abalone in east Fujian inner bay[J]. *Marine Sciences*, 2009, 33(10): 9-14.
- [28] 陈添铮, 温蓁洲, 杨文真. 杂交鲍和绿盘鲍海上养殖对比试验[J]. 海洋与渔业, 2017, 62-63.
- Chen Tianzheng, Wen Zhenzhou, Yang Wenzhen. Comparison test on marine breeding of *Haliotis discus hannai* and hybridized abalone (*Haliotis discus hannai*×*Haliotis fulgens*)[J]. *Ocean and Fisheries*, 2017, 62-63.
- [29] 郑进春. 古雷海区吊养鲍鱼死亡情况调查[J]. 福建水产, 2010, 126(3): 86-88.
- Zheng Jinchun. Investigation on abalone's death in Gulei sea area of Fujian[J]. *Journal of Fujian Fisheries*, 2010, 126(3): 86-88.
- [30] Vosloo A, Laas A, Vosloo D. Differential responses of juvenile and adult South African abalone (*Haliotis midae* Linnaeus) to low and high oxygen levels[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2013, 164(1) : 192-199.
- [31] 张文斌, 吕振波, 张莹, 等. 缺氧胁迫对菲律宾蛤子生理代谢的影响[J]. 生态学杂志, 2014, 33(9): 2448-2453.
- Zhang Wenbin, Lü Zhenbo, Zhang Ying, et al. Influence of hypoxia stress on physiological metabolism of *Ruditapes philippinarum*[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(9): 2448-2453.
- [32] Cheng W, Liu C, Cheng S, et al. Effect of dissolved oxygen on the acid — base balance and ion concentration of Taiwan abalone *Haliotis diversicolor supertexta*[J]. *Aquaculture*, 2004, 231(1-4): 573-586.
- [33] 柯才焕. 我国鲍鱼养殖产业现状与展望[J]. 中国水产, 2013, 56(1): 27-30.
- Ke Caihuan. Present situation and Prospect of Chinese abalone culture industry[J]. *Journal of China Fisheries*, 2013, 56(1): 27-30.
- [34] 吴文婵. 连江县鲍增养殖现状、问题和发展对策[J]. 现代渔业信息, 2011, 26(4): 16-17.
- Wu Wenchan. Status, problems and development countermeasures of abalone enhancement and aquaculture in Lianjiang County[J]. *Modern Fisheries Information*, 2011, 26(4): 16-17.
- [35] 冯显逵. 九孔鲍工厂化养殖应警惕缺氧暴死[J]. 中国水产, 1999, 6: 38.
- Feng Xiankui. The sudden mass death of hypoxia should be vigilant in industrialized culture of *Haliotis diversicolor supertexta*[J]. *Journal of China Fisheries*, 1999, 6: 38.

Stress and early warning threshold of several environmental factors on *Haliotis discus hannai* Ino

WEI Shan-shan^{1, 2}, LUO Dong-lian^{1, 2}, XU Cui-ya^{1, 2}, YANG Miao-feng^{1, 2}, ZHENG Sheng-hua^{1, 2}, ZHENG Hui-dong^{1, 2}, CHEN Yue-zhong^{1, 2}, QIAN Xiao-ming^{1, 2}

(1. Key Laboratory of Cultivation and High - value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013, China; 2. Fujian Collaborative Innovation Center for Exploitation and Utilization of Marine Biological Resources, Xiamen 361013, China)

Received: Aug. 24, 2018

Key words: *Haliotis discus hannai* Ino; temperature; salt; dissolved oxygen; early warning threshold

Abstract: To address the high summer mortality of *Haliotis discus hannai* Ino, found in Fujian and other sea areas, the effects of varying salinities, temperatures, and dissolved oxygen levels on the mortality of juvenile and 1-year-old abalone were studied. Early warning threshold levels for salinity, temperature, and dissolved oxygen in the farming environment of abalone were set according to the experimental results. The results showed that low salt stress had a significant effect on the mortality of *H. discus hannai* Ino. At 24–27°C, a salinity of 20 was the critical point for the mortality of juvenile and 1-year-old abalone, and the early warning threshold of salinity was set at 22. High temperature stress also had a significant effect on the mortality of the species, with a temperature of 28°C having been found to be the critical point for the mortality of juvenile and 1-year-old abalone; the early warning threshold of temperature was set at 27°C. *H. discus hannai* Ino showed a tolerance to hypoxia; when the water temperature was 26°C, salinity was 30, and dissolved oxygen was < 2.0 mg/L, a large number of deaths began, and the early warning threshold of dissolved oxygen was found to be 3.5 mg/L. High temperature stress and low salt stress showed a significant interactive effect on the mortality rate of *H. discus hannai* Ino. The tolerance to low salt decreased with increasing temperature.

(本文编辑: 丛培秀)