

DOI: 10.3969/j.issn.2096-8248.2025.04.001

引用格式: 孙进阳, 禹佳含, 张思晨, 等. 连云港地区脊尾白虾春季规模化死亡原因分析[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版), 2025, 34(4): 1-6.

连云港地区脊尾白虾春季规模化死亡原因分析

孙进阳^{1a, b}, 禹佳含^{1a, b}, 张思晨^{1a, b}, 祁俊杰^{1a, b}, 张 扬^{1a, b},
刘明彦^{1a, b}, 张庆起², 于 飞³, 张建新⁴, 高 煥^{1a, b}

(1. 江苏海洋大学 a. 江苏省海洋生物技术重点实验室; b. 海洋科学与水产学院, 江苏 连云港 222005;
2. 连云港赣榆佳信水产开发有限公司, 江苏 连云港 222100;
3. 连云港市海洋与渔业发展促进中心, 江苏 连云港 222000; 4. 江苏众利海洋科技有限公司, 江苏 连云港 222000)

摘 要: 每年春季3月至4月, 连云港地区室内养殖的脊尾白虾会出现规模化死亡现象。为揭示其死亡原因, 搜集2023年和2024年的脊尾白虾现场样本, 通过现场调查、病原体分离与检测、人工回接感染试验等, 对死亡原因进行了分析。现场调查发现, 当养殖池开始出现零星死亡个体后, 次日死亡数量往往会倍增, 呈级联放大效应, 且与养殖管理方式无明显关联性。对脊尾白虾组织进行了TCBS平板检测, 结果显示, 24 h后TCBS平板出现绿色菌落; PCR检测发现, 患病虾肝胰腺中弧菌通用毒力基因 tlh 呈阳性, 副溶血弧菌毒力基因 $PirB$ 也呈阳性, 而 $PirA$ 呈阴性。实验虾经副溶血弧菌人工感染后, 临床症状与其自然发病症状一致, 且PCR检测结果显示副溶血弧菌毒力基因 $PirA$ 和 $PirB$ 均呈阳性, 表明脊尾白虾已感染副溶血弧菌。

关键词: 脊尾白虾; 副溶血弧菌; 规模化死亡

中图分类号: S968

文献标志码: A

文章编号: 2096-8248(2025)04-0001-06

Analysis of the cause of mass death of *Exopalaemon carinicauda* in spring in Lianyungang

SUN Jinyang^{1a, b}, YU Jiahao^{1a, b}, ZHANG Sichen^{1a, b}, QI Junjie^{1a, b}, ZHANG Yang^{1a, b},
LIU Mingyan^{1a, b}, ZHANG Qingqi², YU Fei³, ZHANG Jianxin⁴, GAO Huan^{1a, b}

(1. a. Jiangsu Key Laboratory of Marine Biotechnology; b. School of Marine Science and Fisheries, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China;
2. Lianyungang Ganyu Jiixin Aquatic Products Development Co., Ltd., Lianyungang 222100, China;
3. Lianyungang Marine and Fisheries Development Promotion Center, Lianyungang 222000, China;
4. Jiangsu Zhongli Marine Technology Co., Ltd., Lianyungang 222000, China)

Abstract: Every spring from March to April, the mass death of indoor farmed *Exopalaemon carinicauda* will occur. In this study, samples of *E. carinicauda* were collected in 2023 and 2024, and the causes of mortality were analyzed through tracking studies, pathogen detection and artificial infection experiments. The results showed that once sporadic deaths occurred in the aquaculture ponds, the mortality rate often doubled in the following day, exhibiting a cascading amplification effect, which was unrelated to culture

收稿日期: 2025-03-21; 修订日期: 2025-04-29

基金项目: 江苏省农业农村厅种业振兴“揭榜挂帅”项目(JBGS[2021]124)

作者简介: 孙进阳, 硕士研究生, 研究方向为水产养殖, (E-mail) 2498493621@qq.com。

通信作者: 高煥, 教授, 博士, 研究方向为甲壳类遗传育种, (E-mail) huanmr@163.com。

management. Further TCBS agar plate and *Vibrio parahaemolyticus* PCR were used to detect the tissues of *E. carinicauda*, the results showed that green colonies appeared on TCBS agar plates after 24 hours. PCR detection showed that both the universal virulence gene *tlh* and the specific virulence gene *PirB* of *V. parahaemolyticus* were positive in the hepatopancreas of diseased *E. carinicauda*, while the *PirA* gene was negative. Artificial animal infection assay revealed that the clinical syndrome in infected *E. carinicauda* was consistent with the syndrome that occurred in cultured stock. PCR analysis confirmed that specific virulence genes *PirA* and *PirB* of *V. parahaemolyticus* were both positive. The results indicated that *E. carinicauda* had been infected with *V. parahaemolyticus*.

Key words: *Exopalaemon carinicauda*; *Vibrio parahaemolyticus*; mass death

0 引言

脊尾白虾 (*Exopalaemon carinicauda*) 是我国重要的海水养殖虾类, 在江苏、浙江、山东等沿海地区均有养殖, 其中江苏沿海地区脊尾白虾养殖面积和产量均居全国首位^[1-2]。脊尾白虾是一种中型虾类, 其成体长 4~9 cm, 对环境的适应性较强^[3]。它们可在盐度 4~35^[4]、水温 2~38 °C^[5]、溶解氧高于 1 mg/L 的水体中生活^[6]。因为选育脊尾白虾新品种需要, 本实验室在 2018—2024 年期间, 每年秋季批量 (数量为 4 万~6 万尾) 收集一批脊尾白虾用于后续选种或繁育, 然而收集的种虾于次年 3 月底至 4 月中旬均出现不明原因的大规模死亡现象。

导致虾类规模化死亡的原因有很多, 如密度过大加上不利天气会造成水产动物因缺氧而大量死亡现象^[7], 传染性疾病的暴发也会导致虾类规模化死亡^[8]。其中, 虾类感染传染性疾病的因素主要包括病毒、细菌和寄生虫等病原体。近年来报道的导致虾类规模化死亡的病原体主要有白斑综合征病毒、弧菌类和微孢子虫等。白斑综合征病毒是引起虾类病毒性疾病的主要病原体, 其传染性强, 健康虾会通过摄食病死虾或粪便等途径水平传播^[9]。其发病快, 一般从出现可见症状到死亡仅 3~5 d 时间, 死亡率高达 80%~90%^[10]。全球广泛分布的弧菌类疾病菌株包括副溶血性弧菌 (*Vibrio parahaemolyticus*)、鳃弧菌 (*Vibrio anguillarum*)、创伤弧菌 (*Vibrio vulnificus*)、溶藻弧菌 (*Vibrio alginolyticus*) 和哈维弧菌 (*Vibrio harveyi*) 等。这些菌株可在养殖虾中诱导急性肝胰坏死综合征 (AHPNS) 的产生, 给水产养殖业造成巨大经济损失^[11-13]。微孢子虫是另一类可引起虾类寄生虫病的寄生病原体, 该病原体可导致宿主生长缓慢^[14-15], 但一般不会引起宿主发生

大量死亡的现象。为了分析导致连云港地区脊尾白虾春季规模化死亡的主要原因, 本研究对脊尾白虾的养殖环境和潜在病原菌进行了调查分析, 并进行实验虾感染和病原菌特异基因验证, 以期对脊尾白虾的健康养殖提供指导和帮助。

1 材料与方法

1.1 材料

实验用虾为 2023 年和 2024 年养殖于连云港赣榆佳信水产开发有限公司的脊尾白虾, 每批数量约 4 万~5 万尾。

1.2 方法

1.2.1 调查时间

调查时间为 2023 年 3 月 5 日至 4 月 25 日、2024 年 4 月 22 日至 5 月 2 日。详细记录该时间段内每天虾的死亡总量。

1.2.2 调查方法

每天详细观察和记录虾死亡的个体和数量, 同时采用访谈的方式对养殖管理人员在饲料投喂、换水量、免疫程序以及防疫、消毒等工作方面的落实情况进行调查。

1.2.3 病菌检测

病菌分离与纯化: 患病虾经 75% (体积分数) 酒精体表消毒后, 无菌操作, 取其肝胰腺, 划线于 TCBS 琼脂培养基, 37 °C 恒温培养箱中培养 18~24 h^[16]。选取单菌落通过无菌操作进行进一步划线纯化, 复壮 3 次划线纯化以后获得纯培养的菌株, 后通过无菌操作接种于 2216E 培养基中制成菌悬液。恒温摇床 37 °C 培养 18 h 后, 在无菌操作台里, 菌液按照 1:1 的体积比加入甘油后置于 -80 °C, 做好标记保存。

DNA 提取: 虾的肝胰腺、肠、肌肉、鳃, 用 Ezup 柱式动物组织基因组 DNA 抽提试剂盒 (生工生物工

程上海股份有限公司)分别提取样品的总DNA。

主要对弧菌类采用PCR技术进行检测,共检测3个靶向基因:*tlh*(弧菌属共同毒力基因)、*PirA*和*PirB*(副溶血弧菌致病性毒力基因)^[17]。其中*tlh*检测的PCR程序为:94℃预变性5min;94℃30s,59℃90s,72℃90s,35个循环;72℃延伸10min。扩增结束后,经电泳检查结果。*PirA*和*PirB*检测的PCR反应程序为:94℃预变性3min;94℃30s,60℃30s,72℃30s,35个循环;72℃延伸7min。扩增结束后,经1%琼脂糖电泳检查结果。

PCR反应体系总量为10μL,体系成分为ddH₂O 3.8μL,2×Taq plus master Mix 5μL,正反向引物(5'~3') (见表1)各0.4μL,模板DNA 0.4μL。

表1 副溶血弧菌毒力基因引物序列
Table 1 Primer sequences of virulence genes of *V. parahaemolyticus*

| 毒力基因 | 引物名称 | 引物序列 | 产物长度 / bp |
|-------------|----------------|-------------------------|-----------|
| <i>PirA</i> | <i>PirA</i> -F | TGACTATTCTCACGATTGGACTG | 392 |
| | <i>PirA</i> -R | CACGACTAGCGCCATTGTGA | |
| <i>PirB</i> | <i>PirB</i> -F | TGATGAAGTGATGGGTGCTC | 284 |
| | <i>PirB</i> -R | TGATGAAGTGATGGGTGCTC | |
| <i>tlh</i> | <i>tlh</i> -F | ATGATGAAAAAACAATC | 108 |
| | <i>tlh</i> -R | TTAGAAACGGTACTCGGC | |

1.2.4 回归感染试验

将健康的脊尾白虾暂养7d,水温20℃左右,盐度25.0±1.0,暂养期间不喂食,待虾适应环境后进行回归感染试验。挑选150只体形相近的脊尾白虾,每组30只,分为5组进行回归感染试验,同时对对照组泼洒生理盐水。将细菌接种于2216E液体培养基中,置于37℃恒温摇床中过夜培养16h。用细菌浊度仪测取菌液浓度,用生理盐水稀释成1×10⁸,1×10⁷,1×10⁶,1×10⁵,1×10⁴CFU/mL的菌悬液,分别投入水体中,观察感染虾的发病症状以及死亡情况。

2 结果

2.1 规模化死亡前期管理调查

调查发现,这两批虾分别于2023年2月27日和2024年3月15日从塘口放入养殖池,养殖期间每周换50%养殖用水,每日以虾总体质量3%喂食商品饲料。养殖水温(13.0±1.0)℃,养殖管理无不当之处。每日首次出现一定数量的死亡个体后,次日死亡数量会倍增(见图1)。

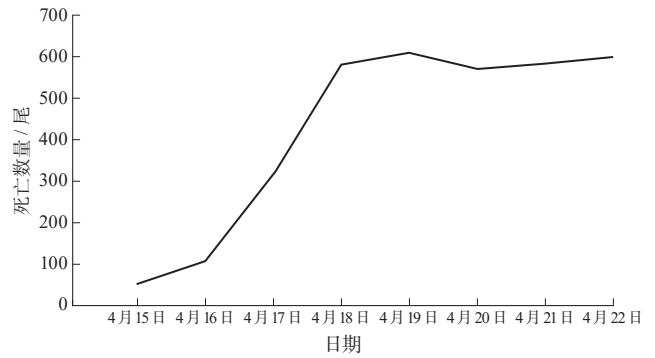


图1 脊尾白虾前期死亡数量及趋势(以2024年为例)
Fig. 1 Death numbers and trend of *E. carinicauda* in early stage (in 2024, for example)

2.2 1%琼脂糖电泳结果

tlh, *PirA*和*PirB*基因的扩增产物长度分别为108, 392和284bp。电泳检测结果显示,对于患病虾,*tlh*在所有检测个体中均呈阳性(见图2);*PirA*结果呈阴性(见图3),而*PirB*呈阳性(见图4)。

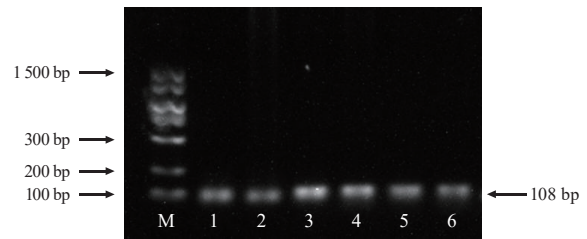


图2 副溶血弧菌*tlh*基因电泳结果
Fig. 2 Electrophoresis results of *tlh* in *V. parahaemolyticus*

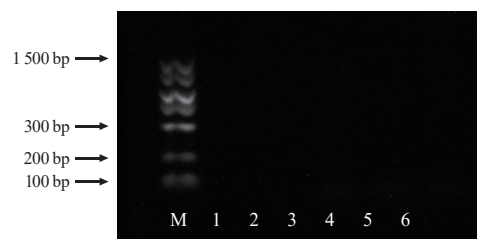


图3 副溶血弧菌*PirA*基因电泳结果
Fig. 3 Electrophoresis results of *PirA* in *V. parahaemolyticus*

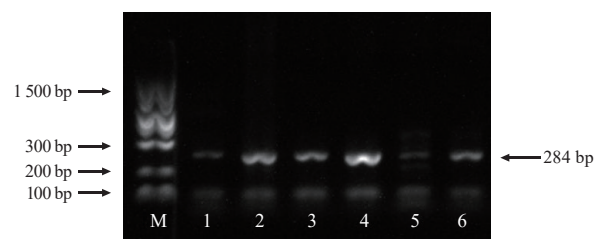


图4 副溶血弧菌*PirB*基因电泳结果
Fig. 4 Electrophoresis results of *PirB* in *V. parahaemolyticus*

2.3 脊尾白虾感染副溶血弧菌后死亡情况

在发现脊尾白虾呈现规模化发病的趋势后,以4月22日脊尾白虾的死亡数量为标志点,对其进行人工干预以减少死亡。方法包括养殖池换70%自然海水(盐度为 26.0 ± 1.0)、彻底清除死虾及底质,次日脊尾白虾的死亡数量(见图5)下降至176尾,之后死亡数量呈现缓慢下降趋势。

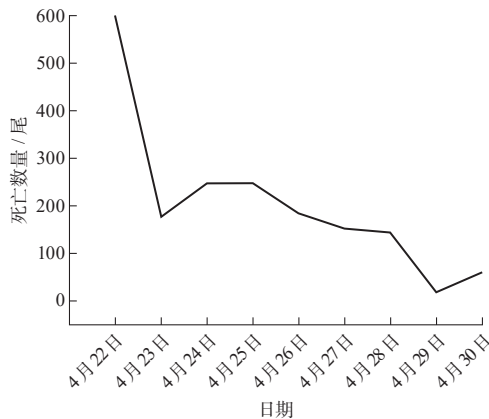


图5 脊尾白虾感染副溶血弧菌死亡数量
Fig. 5 Death numbers of *E. carinicauda* infected with *V. parahaemolyticus*

2.4 人工感染试验结果

人工感染试验后实验虾的死亡情况如表2所示。

表2 脊尾白虾人工感染的死亡情况

Table 2 Death circumstances of *E. carinicauda* after artificially infected with *V. parahaemolyticus*

| 感染浓度 / (CFU·mL ⁻¹) | 时间 /h | | | | | |
|-----------------------------------|-------|----|----|----|----|----|
| | 6 | 12 | 24 | 48 | 72 | 96 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1×10 ⁴ | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 0 |
| 1×10 ⁵ | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 8 |
| 1×10 ⁶ | 0 | 1 | 7 | 3 | 4 | 7 |
| 1×10 ⁷ | 0 | 1 | 3 | 4 | 4 | 8 |
| 1×10 ⁸ | 0 | 1 | 6 | 9 | 11 | 3 |

感染组在6h左右部分实验虾出现行动迟缓,此外,部分虾还伴随摄食欲望下降的患病初期异常表现,12h后开始出现死亡,高浓度组(1×10^8 CFU·mL⁻¹)在48h内的死亡率已明显高于其他组,48h后半数个体出现肝胰腺发红症状,且肝胰腺、胃和卵巢组织结构不清晰,可以发现发病症状与原菌株相同。取患病虾组织,再次进行副溶血弧菌PCR检测,结果显示靶向基因 *PirA* 和 *PirB* 结果均呈阳性(如图6和图7所示)。

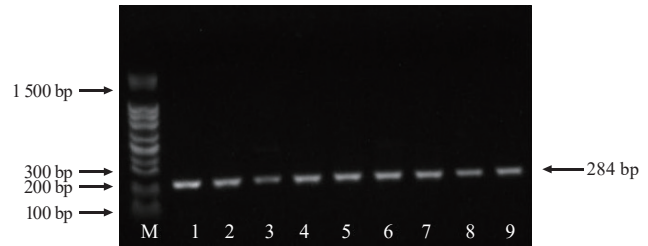


图6 人工感染副溶血弧菌 *PirA* 基因电泳结果
Fig. 6 Electrophoresis results of *PirA* in *E. carinicauda* after artificially infected with *V. parahaemolyticus*

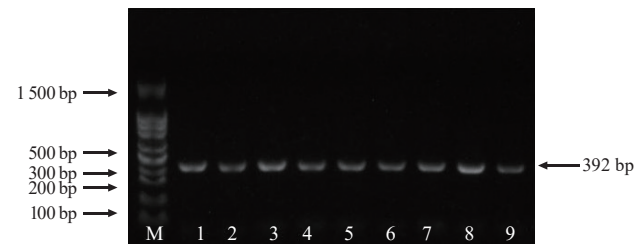


图7 人工感染副溶血弧菌 *PirB* 基因电泳结果
Fig. 7 Electrophoresis results of *PirB* in *E. carinicauda* after artificially infected with *V. parahaemolyticus*

3 讨论

3.1 规模化死亡前期管理调查分析

尽管脊尾白虾的养殖水温、换水频率及投喂量等管理参数均符合常规操作标准,但规模化死亡仍呈现次日死亡数量倍增的爆发性特征。推测长期养殖可能引发氨氮、亚硝酸盐等^[18-19]有害物质慢性积累,达到临界点后通过氧化应激或免疫抑制导致死亡激增。死亡个体数量的次日倍增模式与病毒性或细菌性感染的传播特征一致。例如,凡纳滨对虾在感染了WSSV后的2~5d死亡率可以达到80%^[20];广东、广西对虾由副溶血弧菌引发的“玻璃苗”病,传染率可达90%~100%^[21]。

3.2 1%琼脂糖电泳结果分析

本研究通过电泳检测发现,弧菌属的通用靶向基因 *tlh* 在所有样本中呈阳性,表明此时脊尾白虾体内已有弧菌存在,而TCBS为弧菌专用培养基,过夜培养的结果是培养基上出现大量的圆形、绿色、半透明菌落。产生的绿色菌落可能是副溶血弧菌^[22]、创伤弧菌^[23]等,结合近年来本课题组经常在连云港赣榆佳信水产开发有限公司检测养殖物种的病害原因以及此次脊尾白虾的临床症状,推测可能是感染副溶血弧菌,于是用副溶血弧菌的靶向基因(*PirA*和*PirB*)引物检测,结果显示*PirB*呈阳性。

3.3 脊尾白虾感染副溶血弧菌后死亡情况分析

养殖池内弧菌的浓度随养殖时间的推移呈现上升趋势。在发现脊尾白虾呈现规模化发病趋势后,对养殖水体进行大换水、清除池底死虾和排污,结果次日脊尾白虾的死亡数量显著减少。彭慧婧等^[24]对育苗池中上层和底层水体的弧菌进行跟踪监测,每2 d换水1次,换水量为50%以上,结果显示前期换水能有效控制中上层水体的弧菌浓度。这表明大换水可直接降低养殖池中副溶血弧菌的绝对数量,使单位水体菌密度低于致病阈值。在养殖周期中,残饵、生物排泄物、H₂S等促使水环境恶化。冯振飞等^[25]的研究结果表明,底泥环境的恶化影响锯缘青蟹的生存并增加发病的概率。所以清除池底死虾和排污可移除大部分的沉积毒素,阻止致病菌微生物生长^[26],减少虾体通过摄食或体表接触的持续暴露。

3.4 人工感染试验结果分析

副溶血性弧菌是一种嗜盐菌,隶属弧菌科中的弧菌属^[27-28],有杆状、弧状等多种形状,生存于沿海海水、底泥中,鱼、虾、蟹、贝等海产品都能被感染。病原为携带一个69 kD的pVA1质粒,可编码*PirA*和*PirB*毒力基因的一类弧菌。通过基因重组和敲除技术,发现*PirA*和*PirB*的突变导致菌株致病力消失^[29],*PirA*和*PirB*被证实为VP_{AHPND}发挥致病作用的重要毒力因子^[30],并且致病性也与溶血素*tlh*密切相关^[31]。通过人工回接感染试验,发现发病症状与原菌株一致,PCR检测结果与此前结果不同的是副溶血弧菌的靶向基因*PirA*和*PirB*结果均呈阳性。这是因为脊尾白虾在养殖池中长时间感染,副溶血弧菌不断地传代,导致靶向基因*PirA*消失,经过分离纯化,再次在人工感染试验结果中出现。结果表明副溶血弧菌是导致脊尾白虾春季规模化死亡的主要原因。造成此次发病的原因还包括工作人员对弧菌病缺乏重视,弧菌病多在春季暴发,忽视了该病的防控力度,故而造成脊尾白虾副溶血弧菌病暴发流行。当养殖池内虾出现死亡时,常误判为饲养管理不当。待确诊时,副溶血弧菌已在养殖池内大量增殖。如本次调查中,当观察脊尾白虾养殖水体的水质很浑浊时,将水位排至20 cm及以下才发现水底有大量已发红的死虾,说明这些虾已死亡一段时间,且具有传染性,进一步加速了其他虾的感染和死亡。

3.5 副溶血弧菌病的流行现状

副溶血弧菌病原体在沿海地区甚至内陆海产品中均有着较高的检出率,其对海产品和人类健康构

成严重威胁^[32-34]。王洪斌等^[35]对连云港周边沿海不同区域海水及海产品中的副溶血弧菌进行了分离和鉴定,结果表明菌株的检出率为78%。夏兰等^[36]从湛江市水产品市场随机采集海水鱼样品30份,结果显示,分离得到10株副溶血性弧菌,检出率为33.33%。以上研究说明,在养殖水体中副溶血弧菌是普遍存在的。副溶血弧菌主要归类为原发性致病菌,常常因为污染海味食品而引起人类感染急性胃肠炎等^[37]。近两年连云港赣榆佳信水产养殖场检测到的脊尾白虾大规模死亡事件,都是发生在天气由冷转热的时间点,这也说明气温回升是促进副溶血弧菌暴发的重要诱因。故在脊尾白虾等虾类的养殖管理上,当气温回升时要特别注意防范副溶血弧菌等疾病暴发,采取有效预防和治疗措施。如可用聚维酮碘对养殖水体进行定期消毒;暴发疾病后应及时换水,降低水体中弧菌的密度。目前,本课题组正在利用存活下来的个体进行抗病新品种的选育工作,以期减少因副溶血弧菌侵染引起的规模化死亡事件提供更加环保而高效的解决办法。

参考文献:

- [1] 史文军. 脊尾白虾“僵尸病”病原学与响应机制及褐藻寡糖对其防控效果的研究[D]. 烟台: 中国科学院大学(中国科学院烟台海岸带研究所), 2023.
- [2] 刘明彦, 张扬, 赵宇, 等. 脊尾白虾体长与抱卵量的关系[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版), 2024, 33(2): 1-4.
- [3] 李婉莹, 于淼淼, 彭豫鹏, 等. 维生素E对脊尾白虾生长及抗氧化酶活性的影响[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版), 2023, 32(4): 1-5.
- [4] 梅肖乐, 倪金佛, 陈焕根, 等. 梭鱼、缢蛏、脊尾白虾无公害综合养殖技术[J]. 水产养殖, 2005(6): 24-25.
- [5] 董存有. 珠江口脊尾白虾的一些生物学观察[J]. 四川动物, 1989(4): 36-38.
- [6] 李祥云, 包坚敏, 吴春娥. 脊尾白虾窒息点与耗氧率的试验观察[J]. 海洋渔业, 1992(6): 251-253.
- [7] 陈晓瑛, 宁丽军, 黄文, 等. 养殖密度对南美白对虾全虾营养成分和饲料表观消化率的影响[J]. 广东畜牧兽医科技, 2023, 48(6): 34-40.
- [8] 马泽宁, 马向前. 弧菌病对鱼虾的危害及防治(上)[J]. 科学养鱼, 2024(12): 54-55.
- [9] 孙秋艳, 臧国莲, 石英, 等. 南美白对虾白斑综合征抗病品系选育研究进展[J]. 山东畜牧兽医, 2024, 45(7):

- 102-104.
- [10] 文国樑, 李卓佳, 张家松, 等. 凡纳滨对虾病毒病防控技术[J]. 广东农业科学, 2011, 38(18): 112-116.
- [11] HAN Xiuli, ZHANG Hongyu, CAO Mingxuan, et al. Analysis on current pollution of *Vibrio parahaemolyticus* in seafood in China and its controlling strategy [J]. Food Ferment Industry, 2015, 41(7): 263-267.
- [12] HONG Xupeng, LU Liqun, XU Dan. Progress in research on acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) [J]. Aquaculture International, 2016, 24: 577-593.
- [13] LI Lingzhi, MENG Hongmei, GU Dan, et al. Molecular mechanisms of *Vibrio parahaemolyticus* pathogenesis [J]. Microbiological Research, 2019, 222: 43-51.
- [14] ARANGUREN L F, HAN J E, TANG K F J. *Enterocytozoon hepatopenaei* (EHP) is a risk factor for acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) and septic hepatopancreatic necrosis (SHPN) in the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* [J]. Aquaculture, 2017, 471: 37-42.
- [15] 马超, 高嵩, 王伟玲. 肝肠胞虫 RPA-LFS 快速检测方法的建立及应用[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版), 2022, 31(3): 25-30.
- [16] 李春艳, 白晓慧, 刘义, 等. 致病性副溶血弧菌 VP0630 株的分离鉴定及其对凡纳滨对虾免疫酶活性的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(4): 502-508.
- [17] 黄惊. 两株副溶血弧菌基因组序列分析及其在不同盐度下毒力相关基因表达差异和转录组学研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
- [18] 黄勇. 氨和亚硝酸盐盐急性胁迫对凡纳滨对虾血淋巴氨氮、尿素氮含量和肝胰腺抗氧化能力的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
- [19] 范国兵, 丁德明. 池塘氨氮超标的危害及控制方法[J]. 湖南农业, 2023(9): 27.
- [20] 孙美超, 曹梅, 罗楚涵, 等. 凡纳滨对虾白斑综合征概述与防治研究进展[J]. 河北渔业, 2021(7): 37-44.
- [21] 王印庚, 于永翔, 刘潇, 等. 凡纳滨对虾细菌性玻化症(BVS)的病原、病理分析[J]. 水产学报, 2021, 45(9): 1563-1573.
- [22] 杜美玲, 朱强强, 高镭铢, 等. 2023年扬州市市场和餐饮中副溶血弧菌的病原特征分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(6): 309-315.
- [23] 王达伟, 尹江, 薛洁. 乳糖阴性创伤弧菌的鉴定与流行病学意义[J]. 中国城乡企业卫生, 2020, 35(11): 22-24.
- [24] 彭慧婧, 邹杰, 蔡德建, 等. 拟穴青蟹幼体变态与弧菌浓度的动态变化关系[J]. 水产科技情报, 2011, 38(3): 131-135.
- [25] 冯振飞, 王国良, 钱冬, 等. 锯缘青蟹养殖环境中细菌类群及其数量分布[J]. 水产科学, 2008(11): 574-577.
- [26] 王新叶, 郑述河, 赵玉静, 等. 鱼虾养殖池塘底质恶化的原因及改良措施[J]. 水产养殖, 2022, 43(7): 62-63.
- [27] 倪语星, 张东炎, 陆德源. 副溶血弧菌致病因子的研究进展[J]. 国外医学(微生物学分册), 1991(5): 216-218.
- [28] 振亚. 副溶血性弧菌生猛 当心中招[J]. 江苏卫生保健, 2016(15): 40.
- [29] LEE C T, CHEN I T, YANG Y T, et al. The opportunistic marine pathogen *Vibrio parahaemolyticus* becomes virulent by acquiring a plasmid that expresses a deadly toxin [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2015, 112(34): 10798-10803.
- [30] 李吉云, 沈辉, 孟庆国, 等. 急性肝胰腺坏死病病原菌毒力的初步研究[J]. 水产科学, 2022, 41(5): 868-875.
- [31] 王淑娴, 张晓华, 孙铂光, 等. 不同海洋弧菌中5类溶血素基因的分布及其与溶血活性和磷脂酶活性的相关性[J]. 中国水产科学, 2007(4): 570-578.
- [32] 周海珠, 李义, 宗长燕, 等. 苏州大型超市小水产品中副溶血性弧菌的污染调查及耐药性分析[J]. 中国动物检疫, 2010, 27(12): 59-60.
- [33] 唐丽华, 王虹玲. 舟山市贝类副溶血性弧菌污染状况监测及不同来源菌株的毒力基因分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(2): 123-126.
- [34] 秦磊, 王建红, 高静, 等. 2016年河北省唐山市淡水养殖环节中副溶血性弧菌监测结果分析[J]. 医学动物防制, 2018, 34(4): 307-310.
- [35] 王洪斌, 邵营泽, 徐加涛, 等. 连云港周边海域副溶血性弧菌的污染及耐药性研究[J]. 水产科技情报, 2008(2): 56-58.
- [36] 夏兰, 张海洋, 区翠燕, 等. 湛江市海水鱼中副溶血性弧菌的分离鉴定及致病性分析[J]. 河北农业科学, 2009, 13(12): 40-42.
- [37] JANDA J M, POWERS C, BRYANT R G, et al. Current perspectives on the epidemiology and pathogenesis of clinically significant *Vibrio* spp. [J]. Clinical Microbiology Reviews, 1988, 1(3): 245-267.

(责任编辑: 褚金红)