

# 对虾急性肝胰腺坏死病(AHPND)流行病学、诊断方法及防控措施的研究进展

李吉云<sup>1,2</sup>, 沈 辉<sup>1</sup>, 孟庆国<sup>2</sup>, 万夕和<sup>1</sup>, 蒋 葛<sup>1</sup>, 乔 毅<sup>1</sup>, 冯艳琴<sup>3</sup>, 李浩澜<sup>2</sup>

(1. 江苏省海洋水产研究所, 江苏 南通 226007; 2. 南京师范大学, 江苏 南京 210000; 3. 江苏海洋大学, 江苏 连云港 222000)

**摘要:** 自 2009 年以来, 一种新兴的虾类疾病——急性肝胰腺坏死病(AHPND), 对全球对虾养殖业造成了巨大的损失。已有研究表明, 该病病原是一类含有特殊毒力因子的弧菌, 主要是副溶血性弧菌(VP-AHPND)。根据已发表的文献对该病的发生、流行、病症、病原、检测方法和防控措施等方面进行阶段性的总结, 以期为该病症的防控技术提供参考。

**关键词:** 凡纳滨对虾; 急性肝胰腺坏死病; 致病机制; 毒力因子; 防控方法

中图分类号: S94-5 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2021)03-0163-10

DOI: 10.11759/hykw20200628002

凡纳滨对虾, 又称南美白对虾(*Litopenaeus vannamei*), 属广盐性热带虾类, 是目前世界上产量最高的对虾种类之一<sup>[1]</sup>。凡纳滨对虾风味鲜美、口感上佳、营养价值丰富并且适合高密度工厂化养殖, 于 1988 年从美国夏威夷引进, 2000 年国内开始进行大规模养殖。2019 年凡纳滨对虾全国养殖产量 67.1 万吨, 较前一年上涨 1.04%, 已成为我国目前养殖规模最大的经济虾类<sup>[2]</sup>。

随着凡纳滨对虾养殖业的蓬勃发展, 各类疾病日益频发, 继对虾白斑综合征病毒(White spot syndrome virus, WSSV)后, 一系列新兴疾病如细菌性疾病、真菌性疾病、寄生虫病等对养虾业造成了巨大经济损失<sup>[3]</sup>。其中, 急性肝胰腺坏死病(Acute hepatopancreas necrosis disease, AHPND)作为一种新兴疾病, 自 2009 年开始席卷全球凡纳滨对虾养殖区域, 传播范围广, 速度快, 患病对虾死亡率可达 90% 以上, 排塘率高达 80%, 造成 2013 年全球养殖虾产量较往年下降了近 25%, 凡纳滨对虾养殖业遭受重创<sup>[4]</sup>。对此本文从流行病学、病原检测、基因分型及防控治疗等方面对 AHPND 研究进展进行简要综述, 以期为科研人员提供一定的思路和方案, 进一步开展对 AHPND 的研究, 努力降低 AHPND 对凡纳滨对虾养殖带来的危害。

## 1 AHPND 流行病学研究

### 1.1 发生与流行

自 2009 年 AHPND 在我国海南地区暴发后, 相继在泰国、越南、马来西亚和菲律宾等东南亚地区出

现<sup>[5-6]</sup>, 给亚洲养虾业造成巨大的经济损失<sup>[7]</sup>。2013 年, AHPND 在墨西哥出现, 至 2015 年, 已在拉丁美洲发展广泛流行, 死亡率极高。该病严重地影响我国对虾养殖业, 凡纳滨对虾、中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)和斑节对虾(*Penaeus japonicus*)都可罹患该病<sup>[8]</sup>, 其中凡纳滨对虾最为敏感<sup>[9]</sup>。2014 年起, 我国对虾的发病率仍然高达 60%, 并且开始从对虾出口大国转变为进口大国<sup>[10]</sup>。就目前情况而言, AHPND 仍将持续影响亚洲养虾业<sup>[11]</sup>。

### 1.2 临床及病理特征

患病对虾的临床症状主要为嗜睡、空肠空胃、肝胰腺上皮细胞大量脱落。2012 年, Lighter 等<sup>[12]</sup>报道了 AHPND 病虾独特的组织病理学特征——大量的肝胰腺小管上皮细胞在没有细菌定植的情况下, 坏死脱落。

AHPND 多发于虾苗放养的 7~60 天, 对虾患病

---

收稿日期: 2020-06-28; 修回日期: 2020-08-26

基金项目: 江苏省渔业科技类项目(Y2018-14); 南通市科技项目(MS12020059); 中央引导地方科技发展专项基金(YDZX20173200001267)  
[Foundation: Jiangsu Fishery Science and Technology Project, No. Y2018-14; Nantong Science and Technology Project, No. MS12020059; Special Fund for the Central Government to Guide Local Technology Development, No. YDZX20173200001267]

作者简介: 李吉云(1995—), 女(汉族), 江苏省泰州人, 硕士研究生, 研究方向为水产动物病害防治, 电话: 0513-85223180, E-mail: 1205693246@qq.com; 沈辉, 通信作者, 男, 副研究员, 研究方向为水产动物病害防治。电话: 0513-85223180, E-mail: darkhui@163.com

前期体色呈白浊微红, 肝胰腺呈苍白或淡黄色, 显著肿大, 质地松软(图 1); 患病后期肝胰腺液态物质流失, 明显萎缩, 质地变硬出现黑色的条纹或斑点; 对虾患病后肝胰腺细胞间隙变大, 腺细胞出现不同程度的自溶; 患病对虾通常空肠空胃, 严重者胃肠呈红色, 中肠肠壁变薄, 肠黏膜脱落并散落于肠腔内, 肠腔中没有内含物<sup>[12]</sup>。

2012年, 亚太水产养殖联盟(NACA)将该病定义为AHPND。2013年, AHPND病原菌被确定为是一

类含有特殊质粒的弧菌, 主要是副溶血弧菌(*Vibrio parahaemolyticus*), 哈维氏弧菌(*Vibrio harveyi*)、坎氏弧菌(*Vibrio campbellii*)以及欧文斯氏弧菌(*Vibrio owens*), 此外溶藻弧菌(*Vibrio alginolyticus*)也被报道能够导致AHPND<sup>[13]</sup>。

AHPND病原菌毒力远超一般的对虾源弧菌, 并且含有特殊毒力基因的弧菌种类不断增多, 这表明AHPND对养虾业的冲击还将持续相当长的一段时间。

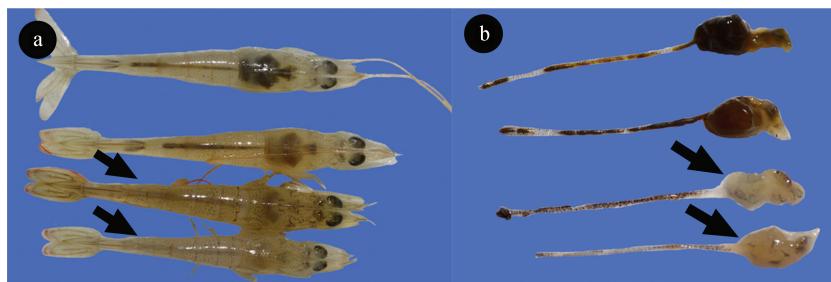


图1 患AHPND与健康凡纳滨对虾对比(引自Soto等<sup>[17]</sup>)

Fig. 1 The comparison between healthy and infected *Litopenaeus vannamei* with AHPND<sup>[17]</sup>

a: 患AHPND虾(箭头标识), 健康虾; b: 患AHPND虾(箭头标识)与健康虾消化器官

### 1.3 致病机制

自2009年该病首次报道以来, 其病因及致病机制仍在研究中。2012年, Tran等<sup>[14]</sup>从池塘感染病虾中分离到数株哈维氏弧菌进化枝, 并通过攻毒实验发现对虾死亡率为100%, 符合柯赫法则, 濒死对虾表现出明显的肝胰腺坏死。该病原菌鉴定为哈维氏弧菌的一个分支, 与副溶血弧菌具有较近同源关系<sup>[15]</sup>。2012年, Oanh等<sup>[16]</sup>从越南92个受AHPND影响的池塘中收集样本, 发现患病虾中大部分含有弧菌, 其中最主要的是副溶血性弧菌。

2013年, Soto等<sup>[17]</sup>在墨西哥发现VP<sub>AHPND</sub>, 且不同的VP<sub>AHPND</sub>具有不同的毒力; 感染实验发现试验虾表现出相同的病理特征, 即一些毒性较弱的菌株不会引起对虾100%死亡率, 并且死亡率低于高毒力菌株; 中毒性菌株相关毒力作用具有剂量依赖性, 经细菌密度计数与组织学分析, 确定了AHPND暴发的三个阶段即初期、急性期和末期。2014年, 罗竹芳等<sup>[18]</sup>通过实验证明了关于VP<sub>AHPND</sub>与AHPND致病性的关系。

2015年, Lee等<sup>[19]</sup>测序发现VP<sub>AHPND</sub>含有一个69 kb (PVA1)的质粒, 该毒力质粒能编码一种二元毒素, 与苏云金芽孢杆菌(*Bacillus thuringiensis*, Bt)杀虫毒

素Cry蛋白相似, 并能够在不同弧菌之间转移, 通过编码pndAD毒素/抗毒素系统, 以确定质粒能够稳定遗传。通过基因重组、敲除pirA和pirB毒力基因获得突变株进行试验, 发现两类突变株致病力均消失, 进一步证明pirA和pirB毒素蛋白是引起AHPND的主要致病因子。通过VP<sub>AHPND</sub>不同毒力菌株的全基因组测序发现特殊质粒PVA1, 该质粒含有水平基因转移相关基因且能编码二元毒素并获得稳定遗传, 该编码基因与发光杆菌编码蛋白同源性最近。引起AHPND的pirA/pirB蛋白与芽孢杆菌杀虫毒素Cry蛋白的拓扑结构类似, 但是这两种毒力蛋白的作用机制目前仍不清楚。

2019年, Yu等<sup>[20]</sup>通过对有毒VP<sub>AHPND</sub>菌株和无毒VP<sub>AHPND</sub>菌株比较基因组学分析, 发现几种只存在于有毒菌株的毒力因子例如vapE和TA systems(toxin-antitoxin systems), 系统发育分析表明, 全球VP<sub>AHPND</sub>株系具有遗传多样性, 这进一步显示VP<sub>AHPND</sub>不是来自一个单一的遗传谱系。Tsai<sup>[21]</sup>通过敲除脂质a的主要成分lpxD基因, 作为革兰氏阴性菌发病机制的关键, 该研究通过敲除lpxD, 鉴定发现对虾体内副溶血性弧菌的毒力减弱。除此之外对上海病虾体中分离到的AHPND病原菌欧文斯氏弧菌SH-14,

进行全基因组测序分析,发现Pir<sup>VP</sup>AB与AHPND相关的毒性基因仅由pVHvo编码<sup>[22]</sup>。2020年Santos等<sup>[23]</sup>通过克隆重组pirA和pirB毒素蛋白,研究发现pirB亚基是一种特异性氨基糖凝集素,参与了细菌的致病过程,可能与虾肝胰腺上皮细胞膜上受体分子结合,从而触发细胞大脱落量。然而,pirB亚基作为凝集素的具体作用,以及pirA亚基的功能,在AHPND发病机制中尚未确定。

尽管pirA和pirB毒素蛋白作为VP<sub>AHPND</sub>主要致病因子初步被明确,但是对病虾消化系统的损害机制和发生过程还没有详尽的实验结论,并且对于不同VP<sub>AHPND</sub>株型毒力差异的原因也有待探究。

## 2 AHPND病原菌检测技术

### 2.1 分子生物学检测技术

自AHPND发生以来,AHPND致病机制还未明确阐释,由最初通过表观症状、组织病理学特征来检

测病原菌的感染<sup>[24]</sup>,随着研究深入,围绕着致病基因的分子诊断方法便迅速发展起来。目前,分子诊断技术已经十分成熟,在科研生产中应用广泛,主要的技术手段有普通PCR、定量PCR和环介导等温扩增技术(Loop-mediated isothermal amplification,LAMP)。

2013年,NACA发布了两种针对靶向质粒序列的AP1、AP2 PCR检测方法,具有较高假阳性率<sup>[25]</sup>。2014年Flegal等<sup>[26]</sup>在原先引物设计基础上,首次发表了以pirA为目的片段的一步式AP3特异性检测方法,与先前AP1,AP2方法相比AP3检测方法特异性强、灵敏度高<sup>[17]</sup>。随后,Dangtip等<sup>[27]</sup>研究团队研发了一种套式PCR(AP4)检测方法,该方法操作简便且灵敏度比AP3方法高100倍。值得注意的是,实践表明,AP4方法不能完全取代AP3方法,其更多用于直接检测无法在分析前进行富集培养的样品(如保存的生物酒精、冷冻组织样品、存档DNA等)(表1)。

表1 基于PCR检测的几种AHPND检测方法

Tab. 1 Several AHPND detection methods based on PCR detection

方法	引物序列	来源
AP1	AP1-F 5'-CCTTGGGTGCTTAGAGGATG-3' AP1-R 5'-GCAAACATATCGCGAGAACACC-3'	罗竹芳等 <sup>[25]</sup>
AP2	AP2-F 5'-TCACCCGAATGCTCGCTTG-3' AP2-R 5'-CGTCGCTACTGTAGCTAGAA-3'	罗竹芳等 <sup>[25]</sup>
AP3	AP3-F 5'-ATGAGTAACAATATAAACATGAAAC-3' AP3-R5'-GTGCTAATAGATTGTACAGAA-3'	Flegal等 <sup>[26]</sup>
TUMSAT-Vp3	TUMSAT-Vp3 F 5'-GTGTTGCATAATTTGTGCA-3' TUMSAT-Vp3 R 5'-TTGTACAGAAACCACGACTA-3'	Tinwongger等 <sup>[26]</sup>
AP4	1 <sup>st</sup> AP4-F1 5'-ATGAGTAACAATATAAACATGAAAC-3' AP4-R1 5'-ACGATTTCGACGTTCCCCAA-3' 2 <sup>nd</sup> AP4-F2 5'-TTGAGAATACGGACGTGGG-3' AP4-R2 5'-GTTAGTCATGTGAGCACCTTC-3'	Dangtip S <sup>[27]</sup>
Pir <sup>VP</sup> A	Pir <sup>VP</sup> A F-5'-ATGAGTAACAATATAAACATC-3' Pir <sup>VP</sup> A R-5'-TTAGTGGTAATAGATTGTACAG-3'	Lee C T等 <sup>[19]</sup>
Pir <sup>VP</sup> B	Pir <sup>VP</sup> B F-5'-GAGCCAGATATTGAAAACATTGG-3' Pir <sup>VP</sup> B R-5'-CCACGCAGCGAGTTCTGTAATGTA-3'	Lee C T等 <sup>[19]</sup>
TaqMan qPCR	Pir <sup>VP</sup> A F: TTGGACTGTCGAACCAAACG Pir <sup>VP</sup> A R: GCACCCCATTGGTATTGAATG Probe: AGACAGCAAACATACACCTATCATCCCGCA	Han等 <sup>[30]</sup>

AHPND控制策略的主要重点是监测对虾生长过程中VP<sub>AHPND</sub>感染携带情况,因此养殖生产过程中亟需简易、快速的检测方法。Kongrueng等<sup>[28]</sup>开发了两套引物的环介导等温扩增检测方法(LAMP-a2和LAMP-a3),适用于AHPND早期检测。此后,Narong等<sup>[29]</sup>开发了一种基于LAMP结合使用DNA功能化的、ssDNA标记的纳米金探针的无辅助视觉

读数的VP<sub>AHPND</sub>检测的简单而等效的方法(表2),更加直观便捷。2015年,Han等<sup>[30]</sup>建立了一种基于TaqMan探针的定量PCR方法,该法特异性强且灵敏度高。2019年,童桂香等<sup>[31]</sup>根据pirA基因序列设计特异性引物和TaqMan-MGB探针,建立荧光定量PCR方法,该法灵敏度高、特异性强、重复性好、能快速定量(表1)。

表 2 环介导等温检测 AHPND 方法

Tab. 2 LAMP methods for detecting AHPND

方法	引物序列	来源
LAMP-A3 Assay	FIB: GTATTGGTAAGCTCCCCGGAAGTCGGTCGGTCGTAGTGT BIP: AATGGGGTGCGCCATTATGAAGTTCACACGTTGTACC F3: GCAAAACATACACCTATCATCC B3: GCATTATCAGGGCGTTGT LF: ACGTCCCCTATTCTCAATGTCT LB: GCTGGCGGCTGGAAAGT F3: TGATAATGCATTCTATCATCAGC B3: ATTTGAAAAGACCAAATGAAACC FIP: FIc: GTGAGCACCTTCTTCTTAGTGGTAATA F2: GTTGTAATTAACAATGGCGCTAG BIP: B1c: TGACGGAATTAAACCTAACATGCA B2: GCTTGAAAGCATAGTTAGGATC	Kongureng 等 <sup>[28]</sup>
AHPND LAMP Assay		Narong 等 <sup>[29]</sup>

## 2.2 免疫技术

通过抗原抗体反应来检测病原灵敏度高，检测速度快，可用于现场快速检测对于养殖生产具有重要意义。2017 年，祁振强<sup>[32]</sup>通过制备卵黄抗体诊断 VP<sub>AHPND</sub> 卵黄抗体以 pirA 和 pirB 蛋白作为抗原来免疫产蛋禽类，并从其卵的卵黄中提取能够与所述 pirA 和 pirB 蛋白特异性结合的抗体制备得到的蛋白卵黄抗体特异性高，稳定性和耐高渗性良好。

Hanumanthappa 等<sup>[33]</sup>通过制备多克隆抗体可以有效检测到 pirA 蛋白，检测下限是 0.121 μg/mL，该方法特异型佳，灵敏度高。Wangman 等<sup>[34]</sup>制备了检测 pirB 蛋白的单克隆抗体并于胶体金技术相结合开发了快速检测试纸条，检测下限是 6.25 μg/mL。另外 Arren<sup>[35]</sup>等成功开发了利用金纳米粒子与特性硫醇探针联用的技术，用于检测 VP<sub>AHPND</sub> 的 pirA 的毒素基因，经验证这种技术具有强特异性和高灵敏度，该方法可以作为 VP<sub>AHPND</sub> 检测的一种手段，监测并预防其流行与传播，进而可以避免养殖对虾因感染导致的高死亡率和巨大的经济损失。

## 2.3 生物传感器

生物传感器是一种检测病原体的新兴诊断工具，该法通过蛋白质或核酸相互作用产生的电信号或光信号对一定浓度的病原体 DNA 或蛋白进行检测，灵敏度高、成本低，可以大批量检测样品<sup>[36]</sup>。生物传感器可以同时检测不同样品内的多种病原，省时省力<sup>[37]</sup>。迄今为止还没有建立用于 AHPND 病原菌检测的生物传感器，还需要更多的研究来开发利用 AHPND 病原菌诊断的生物传感器。

## 3 基因分型技术

利用基因分型技术可以为 VP<sub>AHPND</sub> 的准确溯源提供科学依据，并且能够及时地确定致病源，对 VP<sub>AHPND</sub> 致病机理和致病基因的转移机制研究都具有重要意义，本章节将从以下几个方面综述已有的分型方法。

### 3.1 多位点序列分型

多位点序列分型(Multilocus sequence typing, MLST)基于不同菌株管家基因间的差异可以有效对不同菌株之间的亲缘关系进行评估，在分析菌株进化关系等方面具有优势。孙明玉等<sup>[38]</sup>通过运用多位点序列分型(Multilocus sequence typing, MLST)的方法对中国广东分离得到食物的 12 株 VP<sub>AHPND</sub> 进行分型研究，发现中国广东分离的致病菌株属于一个新的序列型 ST1910。为了研究 VP<sub>AHPND</sub> 的系统发育关系，Chonsin 等<sup>[39]</sup>对收集到的 VP<sub>AHPND</sub> 泰国株进行 MLST 分型研究，结果表明 VP<sub>AHPND</sub> 泰国株在遗传上呈现多样性，同时也观察到 VP<sub>AHPND</sub> 和非 VP<sub>AHPND</sub> 菌株在分型上明显的分成不同的簇，结果表明 VP<sub>AHPND</sub> 和非 VP<sub>AHPND</sub> 菌株的亲缘关系较远。Yu 等<sup>[20]</sup>利用 MLST 对来自全球不同地区 38 株 VP<sub>AHPND</sub> 鉴定，实验结果鉴定出 10 种序列类型(STs)，以 ST970 为优势序列分型技术，基于 MLST 和单核苷酸多态性(SNP)的系统进化分析表明 VP<sub>AHPND</sub> 菌株具有遗传多样性菌株。

### 3.2 脉冲场凝胶电泳

脉冲场凝胶电泳(pulse field gel electrophoresis,

PFGE)以其重复性好、分辨力强而被誉为细菌分子生物学分型技术的“金标准”<sup>[40]</sup>。PFGE 技术主要用于食源性和临床型副溶血弧菌分型研究, 对虾 VP<sub>AHPND</sub> 方面研究报道较少。甄晓然等<sup>[41]</sup>对从江苏不同地区来源的凡纳滨对虾体内分离得到的 VP<sub>AHPND</sub>, 进行脉冲场凝胶电泳(Pulsed Field Gel Electrophoresis, PFGE)分子分型研究, 最终得到了 VP<sub>AHPND</sub> 4 个主要的 PFGE 簇, 相似性达到 86.1%~100%, 表明各菌株亲缘关系较近。

### 3.3 ERIC-PCR

利用肠杆菌基因间共有重复序列 PCR 技术(enterobacterial repetitive intergenic consensus-PCR, ERIC-PCR)对副溶血弧菌进行分型已有一些报道, 该方法便捷、高效、直观。张海强等<sup>[42]</sup>对上海市收集到的 20 株虾源副溶血弧菌, 包括 4 株 VP<sub>AHPND</sub>, 进行 ERIC-PCR 分型, 发现这些菌株可以分为 7 个不同的类群, VP<sub>AHPND</sub> 聚类在 2 个类群中, 同时分型结果发现该方法能够有效区分不同时间段获得的菌株, 而对不同地理位置获得的菌株区分并不明显。

### 3.4 基因组测序

为了解 VP<sub>AHPND</sub> 和非 VP<sub>AHPND</sub> 株型间的差异, Nalumon 等<sup>[43]</sup>比较了泰国和亚洲其他国家 VP<sub>AHPND</sub> 和非 VP<sub>AHPND</sub> 分离株的基因组序列, 基因组比较分析显示, 在致病性 AHPND 和非 AHPND 菌株中均存在保守的毒力基因和原噬菌体; 在关键毒力因子方面, 中国菌株的副霍乱毒素和咬合带毒素的核苷酸序列与泰国 VP<sub>AHPND</sub> 菌株存在差异, 此外该团队在 AHPND 组中发现了编码调控蛋白和包膜形成蛋白的开放阅读框(ORFs), 这些基因可能增强 AHPND 菌株诱导毒力和致病机制。Yu 等<sup>[22]</sup>通过对 VP<sub>AHPND</sub> 和非 VP<sub>AHPND</sub> 分离株进行全基因组测序研究, 发现 VP<sub>AHPND</sub> 分离株含有更少的 CRISPRs 元件, 并且在基因组中发现 6 组原噬菌体序列, 认为副溶血弧菌基因组内 CRISPRs 元件越少, 抵御原噬菌体植入的能力越弱。

### 3.5 基因组测序

转录组学的研究可以揭示对虾感染 VP<sub>AHPND</sub> 后的生理状况, 对研究 AHPND 致病机理有很强的参考意义。Zheng 等<sup>[44]</sup>利用 AHPND(VA)和非 AHPND (VN)菌株进行转录组学比较分析, 初步确定可能参与应答凡纳滨对虾感染 VP<sub>AHPND</sub> 的 miRNA 和相关靶

基因, 结果显示通过转录组分析发现 miRNAs 及其靶基因对 VP<sub>AHPND</sub> 感染有反应, 可能在 VP<sub>AHPND</sub> 感染防御中发挥作用, 与细胞凋亡相关的部分基因表达上调, 免疫相关基因表达下调。斑节对虾也是 VP<sub>AHPND</sub> 的易感宿主, 受 AHPND 的影响严重, 但是对斑节对虾免疫反应缺乏足够认识, Soo<sup>[45]</sup>等利用 RNA-seq 技术揭露了斑节对虾转录组变化, 发现 VP<sub>AHPND</sub> 感染后虾体内肝胰腺单核细胞增多。

## 4 AHPND 防控措施

目前由于 AHPND 的致病机制尚未完全了解, 对 AHPND 的研究还主要停留在病理和病因方面, 防控方面也未形成一套科学有效的完整体系。但科研工作者已经围绕水质调控、亲虾质量以及药物防治等方面开展了防控措施的探索。

### 4.1 环境调控

相关研究表明, 水质调控在病害防治方面较受青睐。在对虾养殖过程中, 疾病的暴发与水生环境的恶化、虾的免疫力下降以及大量的病原菌滋生密切相关<sup>[46]</sup>。Boonyawiwat 等<sup>[47]</sup>使用多变量逻辑分析确定了影响池塘暴发 AHPND 的因素, 例如养殖场中氯化物处理、水库可用性、水处理中捕食鱼的使用以及渔场中多种虾种的混养和增加的幼虾密度都会增加感染风险。报道指出, 定期施用芽孢杆菌(*Bacillus*)等有益细菌稳定水体的藻相, 并维持水环境的正常变化, 可保持对虾的适应能力以及水环境的稳定性, 从而降低 AHPND 的暴发的几率。另外, 要重点关注幼苗投放前 4~5 天的水体稳定性, 若该阶段水质恶化, 则 AHPND 的暴发几率提高<sup>[48]</sup>。AHPND 多发病于养殖早期, 此阶段虾苗抗病性和抗逆性能力较低, 虾苗无法抵抗外界的细菌侵入所以在养殖过程中, 对于疾病的防控主要以防控检测为主, 选择健康的亲虾、合理地投喂, 投苗前进行对虾苗种检测并采取合理措施显得尤为重要<sup>[49]</sup>。

### 4.2 药物防控

传统的抗生素疗法和抑菌化合物使用是治疗细菌性疾病的经典方法, 对于 AHPND 的防控具有一定立竿见影的效果。刘志轩等<sup>[13]</sup>在其研究实验中用氟苯尼考为主体的抗菌素配方对 AHPND 进行防控研究, 成功发现其对 VP<sub>AHPND</sub> 具有很好的抑制作用。Alvarez-Cirerol 等<sup>[50]</sup>使用新型治疗 AHPND 的策略即

用 Rh(*Rumex hymenosepalus*)合成银纳米颗粒对水体中 VP<sub>AHPND</sub> 进行抑制作用而提高虾的成活率。对发生 AHPND 进行水体消毒是不可取的，会使得水体环境发生剧烈变化，对虾产生应激反应，感染对虾大量死亡。

在 AHPND 防控研究前需要了解副溶血性弧菌对抗生素的敏感性，抗生素虽然通常被用来抑制病原菌，但它们可以破坏虾的肠道菌群稳态并且更可能让其他类病原菌如弧菌在其中定殖<sup>[51]</sup>。为了减少抗生素的使用，植物次生代谢物可以被认为是一种潜在的天然化合物来源来代表抗菌活性，研究验证金银花摇手纹皮提取物对 VP<sub>AHPND</sub> 用较强的拮抗作用，是控制虾类疾病传播替代天然药剂的独特候选物<sup>[52]</sup>。杨泽禹等<sup>[53]</sup>通过使用中草药来维持肠道菌群结构稳定，通过多角度实验验证口服复方中草药可以定量化控制对虾体内有害菌群，为 AHPND 的防控提供技术支持。目前，中草药等有机提取物是研究水生动物疫病防治的一大热点，可以提高养殖对虾的免疫力，降低细菌耐药性的风险，应用范围越来越广。

### 4.3 生物防治

已有的微生物防治技术主要是添加益生菌，但大多是基于经验观察，尚未形成标准的操作程序，防治效果有待验证。乳酸菌(*lactic acid bacteria*, LAB)被认为是预防或治疗植物或动物感染的生物制剂，从发酵和腌制虾仁中分离出几株乳酸杆菌，并对其抑制 VP<sub>AHPND</sub> 活性能力进行研究，研究结果表明这些菌株对宿主肠道内的病原菌具有较高的抗菌活性，每株菌抗菌活性具有差异，这些差异效应为水产养殖中弧菌感染的预防提供了有价值的信息<sup>[54]</sup>。

近年来，大量研究表明在繁殖过程中添加噬菌体对虾病的防控发挥积极作用，Jin 等<sup>[55]</sup>使用噬菌体对浸泡感染 VP<sub>AHPND</sub> 的虾进行实验测定，结果发现噬菌体使得试验组对虾存活率提高，在防治 VP<sub>AHPND</sub> 方面具有深入研究的价值。Lomeli-Ortega 等<sup>[56]</sup>所筛选的溶菌噬菌体(A3S 和 Vpms1)可有效降低副溶血性弧菌的致死率，抑制副溶血性弧菌感染。

由于在水生态系统易于创造限制弧菌生长环境的优势，一些观点认为水体中微藻-细菌共生絮凝系统可有效防治 AHPND。Chang 等<sup>[57]</sup>利用台湾本土海洋浮游植物 S1b 与海洋需氧菌共培养投入到养殖池

中，由 S1b 和三株好氧菌(白色拉布伦茨氏菌、鼠尾菌、不动杆菌)组成的菌群的细胞嵌入藻酸盐中饲养可有效抑制多种弧菌，并显著抑制 AHPND 致病菌的生长。从虾肠道分离的芽孢杆菌和赤潮藻结合的海藻益生菌也具有协同抗菌作用，这种具有协调作用的混合物可以安全地被虾食用，并降低 VP<sub>AHPND</sub> 在虾体内的毒性，该方法是水产养殖中提高患病虾的存活率的一种潜在饲料添加剂<sup>[50]</sup>。此外在虾的基础饮食中利用免疫防治的方法，可提高其免疫力，2014 年 Lee 等<sup>[58]</sup>通过给小鸡注射 PirA 和 PirB 蛋白时产生疫苗，再将其添加到虾基础饮食中时该疫苗可以提高凡纳滨对虾对 AHPND 的免疫力。

生物防治 AHPND 的措施主要是基于微生物方法来开发的，分离、筛选及应用其拮抗菌是防治 AHPND 最直接有效的技术方法之一。菌藻联合防治在实际生产中需要较高的操作技术，可以进行商品化研究，口服抗体的效果较难评价，成本高，应用程度要求高。

由于 AHPND 发病机制尚未完全阐述，实际生产和应用中很难治愈该病，但从选择虾苗开始就严格控制苗的质量，通过权威机构进行苗种检疫，在苗种环节切断病原的流入，是最有效的预防手段。且在养殖期间加强水质管理，采取科学的饲养方法，辅以疾病预控制药物，充分利用生物之间的关系，建立稳定的繁殖环境，对疾病的预防和控制具有良好的作用<sup>[59]</sup>。

## 5 结论与展望

AHPND 自发生以来，各国学者的研究表明该病的发生与含有特殊质粒的弧菌相关，VP<sub>AHPND</sub> 通过释放相关毒素蛋白作用于对虾肝胰腺，使其坏死。特殊质粒编码的 pirA 和 pirB 蛋白是 VP<sub>AHPND</sub> 强感染性的重要原因，但关于该毒力蛋白作用机理尚未研究清晰，需进一步探索。该毒力蛋白与苏云金芽孢杆菌编码的 Cry 蛋白具有相似的特征，可参考 Cry 蛋白的致病机制，为 VP<sub>AHPND</sub> 的研究提供新的思路。进一步对 VP<sub>AHPND</sub> 的宏基因组研究，将有助于全面了解 AHPND 的分子发病机制。目前对于 VP<sub>AHPND</sub> 的检测方法已十分成熟，但 AHPND 的发生迅猛，致死快，死亡率高。因此亟需一种有效的快速检测的方法，便于养殖户在养殖场自行检测，例如胶体金等方法的操作使用还需进一步开发研究。在防控方面，研究者们应加大有益菌种、拮抗

菌株及相关药物的研发，从而降低 AHPND 的发病率和死亡率。

#### 参考文献：

- [1] 王彩理, 彭丙勤, 朱伯清. 南美白对虾的饲料配制[J]. 养殖与饲料, 2003, 6(7): 11-12.  
Wang Caili, Peng Bingqin, Zhu Boqing. Feed preparation of *Penaeus vannamei*[J]. Animals Breeding and Feed, 2003, 6(7): 11-12.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局. 2020 中国渔业统计年鉴[Z]. 北京: 中国农业出版社, 2020: 1-182.  
Fisheries Administration Bureau of the Ministry of agriculture and rural area. China Fishery Statistical Yearbook[Z]. Beijing: China Agriculture Press, 2020: 1-182.
- [3] 吕广动, 王忍, 张印, 等. “稻 + 南美白对虾”生态种养模式发展前景探讨[J]. 作物研究, 2019, 33(5): 443-446.  
Lü Guangdong, Wang Ren, Zhang Yin, et al. Discussion on the development prospect of “rice + *Penaeus vannamei*” ecological planting and breeding mode[J]. Crop Research, 2019, 33(5): 443-446.
- [4] 徐含颖, 张婉蓉, 张学舒, 等. 对虾早期死亡综合征的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(6): 166-167.  
Xu Hanying, Zhang Wanrong, Zhang Xueshu, et al. Research advances in early mortality syndrome of shrimp[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(6): 166-167.
- [5] Kongrueng J, Yingkajorn M, Bunpa S, et al. Characterization of *Vibrio parahaemolyticus* causing acute hepatopancreatic necrosis disease in southern Thailand[J]. Journal of Fish Diseases, 2015, 38(11): 957-966.
- [6] Flegel T W. Historic emergence, impact and current status of shrimp pathogens in Asia[J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2012, 110(2): 166-173.
- [7] Lai H C, Ng T H, Anto M, et al. Pathogenesis of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in shrimp[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2015, 47(2): 1006-1014.
- [8] Leobert D, Cabillon R, Catedral D, et al. Acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) outbreaks in *Penaeus vannamei* and *P. monodon* cultured in the Philippines[J]. Diseases of Aquatic Organisms, 2015, 116(3): 251-254.
- [9] Huong L, Chuong D, Nga V, et al. Status of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) and other emerging diseases of penaeid shrimps in Vietnam[C]//Addressing Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND) and Other Transboundary Diseases for Improved Aquatic Animal Health in Southeast Asia: Proceedings of the ASEAN Regional Technical Consultation on EMS/AHPND and Other Transboundary Diseases for Improved Aquatic Animal Health in Southeast Asia, 22-24 February, 2016, Makati City, Philippines. Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center, 2016: 88-95.
- [10] 陈信忠, 郭书林, 龚艳清, 等. 对虾急性肝胰腺坏死综合征病原研究进展[J]. 检验检疫学刊, 2016, 105(1): 72-76.  
Chen Xinzhong, Guo Shulin, Gong Yanqing, et al. Progress of pathogen for acute hepatopancreas necrosis syndrome[J]. Journal of Inspection and Quarantine, 2016, 105(1): 72-76.
- [11] 唐小千, 徐洪森, 战文斌. 对虾急性肝胰腺坏死综合征研究进展[J]. 海洋湖沼通报, 2016, (2): 90-93.  
Tang Xiaoqian, Xu Hongsen, Zhan Wenbin. Advances in study of shrimp acute hepatopancreas necrosis syndrome[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2016, (2): 90-93.
- [12] 冯博. 引起对虾早期死亡综合征的副溶血性弧菌的分离鉴定及发病机理研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.  
Feng Bo. Research of cloning the genomic DNA of white spot syndrome virus as bacterial artificial chromosome[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017.
- [13] 刘志轩. 凡纳滨对虾急性肝胰腺坏死病致病原分析及防控技术研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.  
Liu Zhixuan. Analysis of the causative pathogens of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in *Litopenaeus vannamei* and its prevention and control [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017.
- [14] Tran L, Nuan L, Redman R M, et al. Determination of the infectious nature of the agent of acute hepatopancreatic necrosis syndrome affecting penaeid shrimp[J]. Diseases of Aquatic Organisms, 2015, 105(1): 48-50.
- [15] Han E, Tang F, Tran L, et al. *Photorhabdus* insect-related (Pir) toxin-like genes in a plasmid of *Vibrio parahaemolyticus*, the causative agent of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) of shrimp[J]. Diseases of Aquatic Organisms, 2015, 113(1): 33-40.
- [16] Oanh D T H, Phu T Q, Phuong N T, et al. Ongoing Vietnam studies find vibrio with phage transmits EMS/AHPNS[J]. Global Aquaculture Advocate. 2013, 16(4): 22-23.
- [17] Soto R SA, Gomez G B, Lozano O R, et al. Field and experimental evidence of *Vibrio parahaemolyticus* as the causative agent of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) of cultured shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in northwestern Mexico[J]. Applied Environmental Microbiology 2013, 81: 1689-1699
- [18] 李俊德, 杨怡婷, 罗竹芳, 等. 副溶血弧菌之杀虫毒素参与诱导虾类急性肝胰腺坏死症[C]. 第九届世界华人虾蟹养殖研讨会, 2014, 湛江.

- Li Junde, Yang Yiting, Luo Zhufang, et al. Insecticidal toxin of *Vibrio parahaemolyticus* participates in the induction of acute hepatopancreas necrosis of shrimp[C]. The 9th World Chinese Shrimp and Crab Symposium, 2014, Zhanjiang.
- [19] Lee C T, Chen I, 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 of the United States of America, 2015, 112(34): 10798-10803.
- [20] Yu L H, Teh C S J, Yap K P. Comparative genomic provides insight into the virulence and genetic diversity of *Vibrio parahaemolyticus* associated with shrimp acute hepatopancreatic necrosis disease[J]. Infection, Genetics and Evolution, 2020, 83: 104347.
- [21] Tsai C-Y, Santos H M, Hu S-Y, et al. LpxD gene knockout elicits protection to *Litopenaeus vannamei*, white shrimp, against *Vibrio parahaemolyticus* infection[J]. Aquaculture International, 2019, 27: 1383-1393.
- [22] Liang xiaosha, Zhou Liang, Yan Shuling, et al. Complete genome sequence analysis of the *Vibrio owensii* strain SH-14 isolated from shrimp with acute hepatopancreatic necrosis disease[J]. Archives of Microbiology, 2020, 202: 1097-1106.
- [23] Santos M V L, Vibanco-Pérez N, Soto-Rodriguez S, et al. The B subunit of PirABvp toxin secreted from *Vibrio parahaemolyticus* causing AHPND is an amino sugar specific lectin[J]. pathogens, 2020, 9(3): 182.
- [24] Lighter D V, Redman R M, Pantoja C R. Early mortality syndrome affects shrimp in Asia[J]. Global Aquaculture Advocate, 2012, 15(1): 40.
- [25] Flegel T W, Lo C F. Announcement regarding free release of primers for specific detection of bacterial isolates that cause acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND)[EB/OL]. Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific (NACA)([http://www.enaca.org/modules/news/article.php?article\\_id=2015](http://www.enaca.org/modules/news/article.php?article_id=2015)). 2014.
- [26] 彭张明, 蒲桂川. 急性肝胰腺坏死病(AHPND)诊断方法的研究进展[J]. 科学养鱼, 2019, (4): 41-43.  
Peng Zhangming, Pu Guichuan. Research progress on diagnosis methods for acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND)[J]. Scientific Fish Farming, 2019, (4): 41-43.
- [27] Dangtip S, Sirikharin R, Sangwanrut P, et al. AP4 method for two-tube nested PCR detection of AHPND isolates of *Vibrio parahaemolyticus*[J]. Aquaculture Reports, 2015, 2(C): 158-162.
- [28] Kongrueng J, Tansila N, Mitraoarp-arthon P, et al. LAMP assay to detect *Vibrio parahaemolyticus*, causing acute hepatopancreatic necrosis disease in shrimp[J]. Aquaculture International, 2015, 23(5): 1179-1188
- [29] Narong, Jantana K, Sarawut S, et al. Sensitive visual detection of AHPND bacteria using loop-mediated isothermal amplification combined with DNA-functionalized gold nanoparticles as probes[J]. Plos One, 2016, 11(3): e0151769.
- [30] Han J E, Tang K F, Tran L H, et al. qPCR assay for detecting and quantifying a virulence plasmid in acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) due to pathogenic *Vibrio parahaemolyticus*[J]. Aquaculture, 2015, 44: 12-442.
- [31] 童桂香, 黎小正, 吴祥庆, 等. TaqMan-MGB 探针荧光定量 PCR 检测致对虾急性肝胰腺坏死病副溶血弧菌[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(4): 405-411.  
Tong Guixiang, Li Xiaozheng, Wu Xiangqing, et al. Taq Man-MGB probe real-time PCR for detection of *Vibrio parahaemolyticus* causing acute hepatopancreas necrosis disease in shrimps[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2019, 45(4): 405-411.
- [32] 祁振强, 肖宏学. 免疫诊断急性肝胰腺坏死综合症的蛋白卵黄抗体及其制备工艺和应用: CN106866818A[P]. 2017-6-20.  
Qi Zhenqiang, Xiao Hongxue. Protein yolk antibody for immunodiagnosis of acute hepatopancreas necrosis syndrome, its preparation process and application: CN106866818A[P]. 2017-6-20.
- [33] Hanumanthappa S K, Thammegowda N K B, Patil P, et al. Polyclonal antibody-based farmer-friendly flow-through test for the detection of acute hepatopancreatic necrosis disease in shrimp[J]. Aquaculture Research, 2020, 51(7): 2863-2869.
- [34] Wangman, P, Chaivisuthangkura, P, Taengchaiyaphum, S, et al. Development of a rapid immunochromatographic strip test for the detection of *Vibrio parahaemolyticus* toxin B that cause acute hepatopancreatic necrosis disease[J]. Journal of Fish Diseases, 2020, 43(2): 207-214.
- [35] Arren C M G, Fernando S I D, Medina N P, et al. Gold nanoparticle-based detection of *pirA<sup>Vp</sup>* toxin gene causing acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND)[J]. SN Applied Sciences, 2020, 2: 1383.
- [36] Oluwaseun A C, Phazang P, Sarin N B. Biosensors: a fast-growing technology for pathogen detection in agriculture and food sector[M]//Rinken T. Open access peer-reviewed Edited Volume: Biosensing technologies for the detection of pathogens-a prospective way for rapid analysis. IntechOpen, March, 2018, DOI: 10.5772/intechopen.74668.
- [37] Rizan N, Yew C H, Niknam M R, et al. Electronic properties of synthetic shrimp pathogens-derived DNA

- schottky diodes[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8: 896.
- [38] 孙明玉. 引起急性肝胰腺坏死病的副溶血性弧菌 MLST 及耐药性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018. Sun Mingyu. Multilocus sequence typing and antibiotic resistance analysis of AHPND-causing *Vibrio parahaemolyticus*[D]. Shang Hai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [39] Chonsin K, Matsuda S, Theethakaew C, et al. Genetic diversity of *Vibrio parahaemolyticus* strains isolated from farmed Pacific white shrimp and ambient pond water affected by acute hepatopancreatic necrosis disease outbreak in Thailand[J]. *FEMS Microbiology Letters*, 2016, 363: fnv222.
- [40] 高玉斌, 赵格, 王君玮, 等. 我国不同地区鸡源致病性大肠杆菌分离株的 PFGE 分子分型[J]. 中国动物检疫, 2020, 37(4): 96-100.  
Gao Yubin, Zhao Ge, Wang Junwei, et al. PFGE molecular typing of pathogenic *Escherichia coli* isolated from chicken in different areas of China[J]. *China Animal Health Inspection*, 2020, 37(4): 96-100.
- [41] 甄晓然. 凡纳滨对虾急性肝胰腺坏死症弧菌江苏株的分子分型及其拮抗菌筛选[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.  
Zhen Xiaoran. Molecular typing and screening of antagonistic bacteria of *Vibrio hepatopancreas* necrosis strain of *Litopenaeus vannamei* in Jiangsu Province[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.
- [42] 张海强, 安伟, 肖雨. 虾源副溶血弧菌致病基因检测与 ERIC-PCR 分型[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(6): 848-856.  
Zhang Haiqiang, An Qiang, Xiao Yu. Pathogenic gene detection of *Vibrio parahaemolyticus* isolated from shrimp and genotyping by ERIC-PCR[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2019, 28(6): 848-856.
- [43] Nalumon T, Marvin B S S, Varodom C, et al. Genome characterization and comparison of early mortality syndrome causing *Vibrio parahaemolyticus* *pirAB<sup>vp-</sup>* mutant from Thailand With *V. parahaemolyticus* *pirAB<sup>vp+</sup>*AHPND isolates[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 209.
- [44] Zheng Z H, Aweya J J, Wang F, et al. Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease (AHPND) related microRNAs in *Litopenaeus vannamei* infected with AHPND-causing strain of *Vibrio parahaemolyticus*[J]. *BMC Genomics*, 2018, 19: 335.
- [45] Soo T C C, Devadas S, Din M S M, et al. Differential transcriptome analysis of the disease tolerant Madagascar-Malaysia crossbred black tiger shrimp, *Penaeus monodon* hepatopancreas in response to acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) infection: inference on immune gene response and interaction[J]. 2019, 11: 39.
- [46] Thakur D P, Lin C K. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems[J]. *Aquacultural Engineering*, 2003, 27(3): 159-176.
- [47] Booyaeaeat V, Patanasatienskul T, Kasonchandra J. Impact of farm management on expression of early mortality syndrome/acute hepatopancreatic necrosis disease (EMS/AHPND) on penaeid shrimp farms in Thailand[J]. *Journal of Fish Diseases*, 2017, 40(5): 649-659.
- [48] 严天鹏. 南美白对虾早期死亡综合症发病原因及防治措施[J]. 渔业致富指南, 2014, (2): 52-54.  
Yan Tianpeng. Causes and prevention measures of early death syndrome of *Penaeus vannamei*[J]. *Fishery Guidetobe Rich*, 2014, (2): 52-54.
- [49] 方杨建. 南美白对虾病害防控技术[J]. 渔业致富指南, 2015, (20): 49-50.  
Fang Yangjian. Disease prevention and control technology of *Penaeus vannamei*[J]. *Fishery Guidetobe Rich*, 2015, (20): 49-50.
- [50] Alvarez-Cirerol F J, López-Torres M A, Rodríguez-León E, et al. Silver nanoparticles synthesized with rumex hymenosepalus a strategy to combat early mortality syndrome in a cultivated white shrimp[J]. *Journal of Nanomaterials*, 2019, 2019: 8214675.
- [51] Xiong J B, Dai W F, LI Cheng Hua. Advances, challenges, and directions in shrimp disease control: the guidelines from an ecological perspective[J]. *Applied Microbiology & Biotechnology*, 2016, 100(16): 6947.
- [52] Chatchawan S, Sirikhwan T. Virulence genes analysis of *Vibrio parahaemolyticus* and anti-vibrio activity of the citrus extracts[J]. *Current Microbiology*, 2020, 77: 1390-1398.
- [53] 杨泽禹. 口服复方中草药(HD-4)定量控制对虾体内有害菌数量的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.  
Yang Zeyu. Study on quantity controlling of pathogenic bacterial in shrimp culture using Chinese herbal compounds (HD-4) by oral administration[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [54] Le B, Yang S H. Probiotic potential of novel *Lactobacillus* strains isolated from salted-fermented shrimp as antagonists for *Vibrio parahaemolyticus*[J]. *Journal of Microbiology*, 2018, 56(2): 138-144.
- [55] Jin W J, Jee E H, Sankar G S, Kathy F J. Phage application for the protection from Acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in *Penaeus vannamei*[J]. *Indian Journal of Microbiology*, 2018, 58: 114-117.
- [56] Lomeli-ortega C O, Martinez-diaz S F, et al. Phage therapy against *Vibrio parahaemolyticus* infection in the whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) larvae[J]. *Aquaculture*, 2014, 434: 208-211.
- [57] Chang Y H, Kuo W C, Wang H C, et al. Biocontrol of

- acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in shrimp using a microalgal-bacterial consortium. *Aquaculture*. 2020, 521(734990): 1-8.
- [58] Lee C T, Chen I T, Yang Y T, et al. Involvement of Pir toxin of *Vibrio parahaemolyticus* in inducing acute hepatopancreatic necrosis disease in shrimp(Z). Vietnam, 9th symposium on diseases in Asian aquaculture, 2014.
- [59] 赵永锋, 宋迁红. 南美白对虾养殖概况及病害防控措施[J]. 科学养鱼, 2014, 30(7): 13-17.  
Zhao Yongfeng, Song Qianhong. General situation of *P. vannamei* breeding and disease prevention and control measures[J]. Scientific Fish Farming, 2014, 30(7): 13-17.

## Research progress on the epidemiology, diagnosis, prevention, and control of acute hepatopancreas necrosis in shrimp

LI Ji-yun<sup>1, 2</sup>, SHEN Hui<sup>1</sup>, MENG Qing-guo<sup>2</sup>, WAN Xi-he<sup>1</sup>, JIANG Ge<sup>1</sup>, QIAO Yi<sup>1</sup>, FENG Yan-qin<sup>3</sup>, LI Hao-lan<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Institute of Marine Fisheries, Nantong 226007, China; 2. Nanjing Normal University, Nanjing 210000, China; 3. Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222000, China)

Received: Jun. 28, 2020

Key words: *Litopenaeus vannamei*; acute hepatopancreas necrosis; pathogenesis; virulence factors; prevention and control methods

**Abstract:** Acute hepatopancreas necrosis (AHPND) is an emerging shrimp disease that has caused huge losses in the global shrimp farming industry since 2009. Studies have shown that the pathogen responsible for this disease is a type of *Vibrio* containing specialized virulence factors, specifically *Vibrio parahaemolyticus* (VP<sub>AHPND</sub>). Combined with published journal articles, this paper summarizes the current state of research progress on the disease in terms of epidemiology and pathology, etiology, pathogenesis, detection, and prevention methods, in order to provide a reference for further prevention and treatment of this disease.

(本文编辑: 赵卫红)