

银翘板蓝根散对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)抗DIV1的作用及免疫调节效果的评价

董学旺^{1,2*}, 张屿幡³, 刘群^{1,2}, 陈浩楠^{1,2}, 姚洪旺⁴, 孙妍^{1,2#}

¹天津市动物疫病预防控制中心, 天津

²天津市水生动物疫病专业实验室, 天津

³天津农学院水产学院, 天津

⁴天津水之星生物科技有限公司, 天津

收稿日期: 2026年3月17日; 录用日期: 2026年4月30日; 发布日期: 2026年5月13日

摘要

为研究银翘板蓝根散对凡纳滨对虾抗十足目虹彩病病毒1 (DIV1)的作用及机制, 本研究以健康凡纳滨对虾为实验对象, 设置对照组、攻毒1组和攻毒2组, 通过人工感染DIV1实验, 检测各组对虾存活率、病毒载量及肝胰腺组织中SOD、POD、ACP和AKP四种免疫酶活性。结果显示, 攻毒2组对虾存活率达30%, 较攻毒1组提升20%; 72 h时该攻毒2组对虾的鳃丝组织DIV1病毒载量低于攻毒1组($P < 0.05$), 且肝胰腺中SOD、POD、ACP和AKP活性在48 h和72 h均显著高于攻毒1组, 其中ACP活性持续上升, SOD、AKP、POD活性下降幅度更小。研究表明, 银翘板蓝根散可通过抑制DIV1在对虾体内复制、提升免疫酶活性增强机体抗氧化和免疫防御能力, 从而降低疫病死亡率。本研究评价了银翘板蓝根散抗DIV1的实际效果, 为复方中草药在水产抗病毒领域的应用提供了实验支撑。

关键词

凡纳滨对虾, 银翘板蓝根散, 病毒复制, 存活率, 免疫酶类活性

Evaluation of Protective and Immunomodulatory Effects of Yinqiao Banlangen San against Decapod Iridescent Virus 1 (DIV1) in *Litopenaeus vannamei*

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 董学旺, 张屿幡, 刘群, 陈浩楠, 姚洪旺, 孙妍. 银翘板蓝根散对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)抗 DIV1的作用及免疫调节效果的评价[J]. 生物医学, 2026, 16(3): 406-415. DOI: 10.12677/hjbm.2026.163043

Xuewang Dong^{1,2*}, Yufan Zhang³, Qun Liu^{1,2}, Haonan Chen^{1,2}, Hongwang Yao⁴, Yan Sun^{1,2#}

¹Animal Disease Prevention and Control Center of Tianjin, Tianjin

²Tianjin Professional Laboratory of Aquaculture Disease, Tianjin

³College of Aquatic Products, Tianjin Agricultural University, Tianjin

⁴Tianjin Shuizhixing Biotechnology Co., Ltd., Tianjin

Received: March 17, 2026; accepted: April 30, 2026; published: May 13, 2026

Abstract

To investigate the effects and mechanisms of Yinqiao Banlangen San on the resistance of *Litopenaeus vannamei* to Decapod Iridescent Virus 1 (DIV1), this study used healthy *Litopenaeus vannamei* as experimental subjects, setting up a control group, a challenge group 1, and a challenge group 2. Through artificial DIV1 infection experiments, the survival rates, viral loads, and the activities of four immune enzymes (SOD, POD, ACP, and AKP) in hepatopancreas tissues were measured. The results showed that the survival rate of the challenge group 2 reached 30%, an increase of 20% compared to challenge group 1. At 72 hours, the viral load of DIV1 in the gill filaments of challenge group 2 was lower than that of challenge group 1 ($P < 0.05$). Additionally, the activities of SOD, POD, ACP, and AKP in the hepatopancreas of challenge group 2 were significantly higher than those of challenge group 1 at both 48 and 72 hours, with ACP activity continuously increasing, while the declines in SOD, AKP, and POD activities were less pronounced. The study demonstrated that Yinqiao Banlangen San could reduce disease mortality by inhibiting DIV1 replication in shrimp and enhancing antioxidant and immune defense capabilities through elevated immune enzyme activity. This research evaluated the practical efficacy of Yinqiao Banlangen San against DIV1, providing experimental support for the application of compound herbal medicines in antiviral strategies in aquaculture.

Keywords

Litopenaeus vannamei, Yinqiao Banlangen San, Viral Replication, Survival Rate, Immune Enzyme Activity

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

虹彩病毒(Iridoviridae)为双链 DNA 病毒, 由衣壳、中间脂质层和核心体组成[1], 粒子直径 120~300 nm, 因斜射光下呈蓝紫色虹彩得名[2]。其宿主广泛, 涵盖无脊椎动物和变温脊椎动物, 据宿主及衣壳蛋白基因序列相似性分为 5 个属, 后新增虹彩病毒属和十足目虹彩病毒属[3]。近年研究发现, 各类对虾分离的虹彩病毒基因相似度达 99%以上, 统一命名为十足目虹彩病毒 1 (DIV1)。

DIV1 主要流行于 5~6 月份, 盐度适应范围广, 可感染凡纳滨对虾、日本对虾等多种养殖虾类, 成虾感染死亡率近乎 100% [4], 给甲壳类水产养殖带来巨大的经济损失。对虾感染后表现为嗜睡、停食、空肠空胃、肝胰腺色浅、甲壳变软等症状, 组织学可见鳃丝、肝胰腺等组织细胞核固缩及嗜碱性包涵体[5]。该病毒主要通过接触患病虾、摄食含病毒饲料等水平传播, 垂直传播与否仍需进一步研究。

目前 DIV1 防控以传统生物安全措施为主, 包括用过氧化氢、聚维酮碘等消毒剂对养殖场所消杀, 以及虾苗引进和养殖过程中的实时监测。诊断方法以分子生物学技术为主, 其中 PCR 技术因引物基于病毒保守基因设计, 准确性高, 应用最广泛; 电镜观察因要求高, 不适合实际生产。

当前 DIV1 抗病毒药物研究较少, 氯喹、维生素 D3 等虽有一定效果[6], 但难以广泛应用。中草药因活性物质丰富、无毒副作用、价格低廉, 成为水产病毒病防治首选。已有研究表明, 复方中草药可提高对虾抗 WSSV、IHHNV 等病毒能力, 还能改善生长性能。

课题组已证实国标渔药“银翘板蓝根散”对凡纳滨对虾白斑综合征有良好的治疗效果。鉴于目前缺乏针对 DIV1 的有效复方中草药制剂, 本研究拟向人工感染 DIV1 的凡纳滨对虾投喂含该制剂的饲料, 通过死亡率、病毒复制情况及免疫酶活性动态变化, 评价其抗 DIV1 及免疫调节效果, 为 DIV1 科学防控提供新方法。

2. 材料与方法

2.1. 材料

2.1.1. 实验动物

实验用凡纳滨对虾购自天津市宝坻区黄庄镇北里自沽村某对虾养殖场, 带回实验室暂养 7 天, 暂养期间分别在每天早上 8 点和下午 4 点进行饵料投喂, 且均在 1 小时内吃完。暂养结束后, 随机抽取 10 尾对虾解剖后提取鳃丝和肝胰腺组织核酸, 分别采用 GB/T 28630.2-2012 [7]、GB/T 25878-2010 [8]、SC/T 7232-2020 [9]、SC/T 7237-2020 [10]、SC/T 7233-2020 [11]、SN/T 3492-2013 [12] 中相关病原 PCR 检测方法分别进行对虾白斑综合征病毒(White spot syndrome virus, WSSV)、对虾传染性皮下及造血器官坏死病毒(Infectious hypodermal and hematopoietic necrosis virus, IHHNV)、对虾肝肠胞虫(*Enterocytozoon hepatopenaei*, EHP)、对虾虹彩病毒(Shrimp hemocyte iridescent virus, SHIV)、对虾急性肝胰腺坏死症(Acute hepatopancreatic necrosis disease, AHPND)、对虾传染性肌肉坏死病病毒(Infectious myonecrosis virus, IMNV) 的检测, 结果显示各类病原均为阴性, 保证了实验用虾不携带上述病原。再从暂养池中选取 360 尾健康且体表无损伤、活力好、摄食正常的对虾作为实验对象, 用于实验的对虾平均体重为 7.05 ± 0.46 g, 平均体长为 8.12 ± 0.19 cm。

2.1.2. 实验材料

海洋动物组织 DNA 提取试剂盒、RNA 提取试剂盒购自北京天根生物科技有限公司; Premix Ex Tag、Premix Ex Tag (Probe qPCR)、无酶水等购自 TaKara; 引物、探针由英俊公司合成纯化; 酶活检测试剂盒购自南京建成; pH7.4 PBS 缓冲液等化学试剂均购自索莱宝; 银翘板蓝根散按照国标渔药规定配方比例从北京同仁堂药店购买, 并打成 200 目的药粉后备用。将制备好的药粉与凡纳滨对虾饵料按照 0.2% 的比例进行混合后, 均匀喷洒黏合剂充分搅拌均匀置于 40℃ 恒温干燥箱中烘干备用; DIV1 阳性病料由本实验室保存。

2.1.3. 实验仪器

高速冷冻离心机、微量移液器(艾本德); PCR 仪、荧光定量 PCR 仪(ABI); 电泳仪、水浴锅(北京六一); 凝胶成像系统(伯乐); 养殖系统(上海海圣); 生物安全柜(海尔); 高压灭菌锅(雅马拓); 酶标仪(帝肯); 纯水仪、-80℃ 低温冰箱(Thermo)。

2.2. 方法

2.2.1. DIV1 病毒粒子注射液的制备和定量计数

从-80℃ 低温冰箱取出实验室保存的 DIV1 组织病料, 迅速放入冰盒转送到生物安全柜中, 称取 0.2

g 病料转移至预冷的 2 mL 玻璃研磨器中, 加入 500 μL 预冷无菌 pH7.4 PBS 缓冲液, 置于冰盒上缓慢研磨 3~5 min 至无明显组织块, 用无菌移液器将 200 μL 研磨匀浆液转移至 1.5 mL 无菌离心管中, 用无菌 pH7.4 PBS 缓冲液补充至 1 mL, 2000 rpm 旋涡震荡 30 s, 充分混匀后, 在 4 $^{\circ}\text{C}$ 、10,000 rpm 条件下离心 10 min, 收集上清液(约 600~700 μL)转移至 1.5 mL 无菌离心管中。将上清液经 0.22 μm 的水系滤膜过滤, 所收集到的滤液即为 DIV1 粗体液。根据邱亮等[13]建立的 DIV1 定量标准曲线, 测定并计算出所提取 DIV1 粗体液中 DIV1 的病毒粒子浓度为 5.13×10^5 copies/mL, 采用无菌 pH7.4 PBS 缓冲液稀释到注射液浓度 1×10^5 copies/mL, -80 $^{\circ}\text{C}$ 低温冰箱保存备用。

2.2.2. 凡纳滨对虾 DIV1 的人工感染实验及样品采集

将随机挑选的 360 尾健康凡纳滨对虾分成 3 组, 分别为对照组(注射 PBS, 投喂普通饵料)、攻毒 1 组(注射病毒液, 投喂普通饵料)和攻毒 2 组(注射病毒液, 投喂拌药饵料), 每组设 4 个平行, 每个平行 30 尾虾, 使用 2.2.1 中制备的 DIV1 病毒注射液在攻毒 1 组和攻毒 2 组的每尾对虾第二腹节肌肉注射 0.1 mL 病毒液, 对照组同样部位注射 0.1 mL PBS 缓冲液。每组的 2 个平行缸里分别在注射后 0 h、24 h、48 h、72 h 每组采集 3 尾虾的肝胰腺组织作为后续免疫酶类指标的测定实验的样本; 分别在攻毒后 24 h、48 h、72 h 采集对虾鳃丝组织, 每个时间点不同组别分别采集 3 尾凡纳滨对虾, 对样品进行 DNA 提取, 用于病毒载量的测定; 每组另外 2 个平行缸用于每天固定时间记录各组注射后的对虾死亡情况, 连续观察记录 8 天后, 计算存活率。

2.2.3. 病毒载量的测定

根据邱亮等[13]建立的 DIV1 定量标准曲线, 通过实时荧光定量 PCR 测定 2.2.2 中采集的 3 组凡纳滨对虾鳃丝组织的 DIV1 病毒载量。

2.2.4. 免疫相关酶活性的测定

DIV1 攻毒后, 2.2.2 中采集的 3 组 0、24、48 和 72 h 肝胰腺组织, 用于测定超氧化物歧化酶(SOD)、碱性磷酸酶(ACP)、酸性磷酸酶(AKP)和过氧化物酶(POD)的活性。将各组肝胰腺组织与 PBS 缓冲液混合匀浆(1:10)后, 分别置于 1.5 mL 离心管中。匀浆液在 4 $^{\circ}\text{C}$ 、10,000 g 离心 15 min 后, 取上清液作为酶活测定的样本。测定方法按照制造商的说明书进行操作, 总蛋白含量(BCA)测定方法按照制造商的说明书进行操作, 所有测量均在酶标仪上进行。

2.2.5. 数据统计

对 2.2.3 和 2.2.4 中测得的数据, 采用 SPSS 17.0 软件进行统计学分析。数据分析采用 ANOVA 单因素方差分析和事后 Tukey 检验来确定显著性。所有数据以平均值 \pm 标准差来表示。*表示试验组与对照组之间有差异性显著, * = $P < 0.05$, ** = $P < 0.01$ 。

3. 结果

3.1. 不同处理组凡纳滨对虾的存活率

不同处理组凡纳滨对虾人工感染 DIV1 的保护率结果如图 1 所示: 攻毒组 1 与对照组相比, 存活率明显降低, 从第 2 天开始死亡率逐渐增加, 到第 3 天存活率下降至 50% 以下, 第 6 天存活率仅有 20%, 第 8 天存活率降至 10%; 攻毒 2 组与对照组相比, 存活率也有明显的下降, 第 2 天的存活率为 95%, 到第 3 天为 60%, 直至第 5 天存活率趋于平稳, 维持在 35% 上下, 但与攻毒 1 组存活率相比, 攻毒 2 组各时间点的存活率明显提高了 10%~20%。对照组、攻毒 1 组和攻毒 2 组的存活率分别为 100%、10% 和 30%。

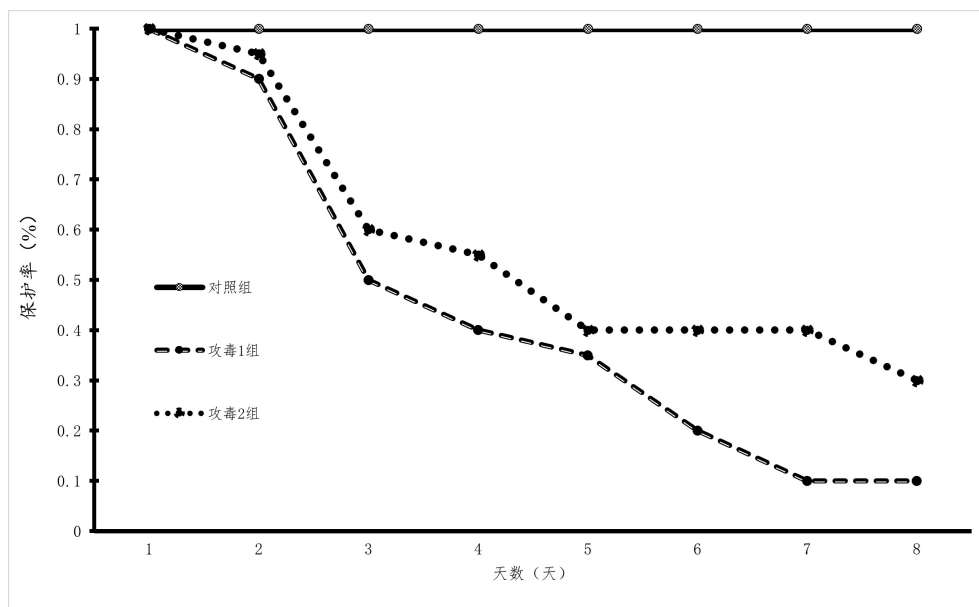


Figure 1. Survival rates of *Litopenaeus vannamei* across different treatment groups
图 1. 不同处理组凡纳滨对虾的存活率

3.2. 病毒载量测定结果

3 个处理组 DIV1 病毒载量测定结果如图 2 所示：对照组未检测出 DIV1 病毒粒子；攻毒 1 组和攻毒 2 组在 24 h 和 48 h 检测出的病毒粒子数没有显著差异，但 72 h 检测结果显示，攻毒 1 组 DIV1 病毒粒子数高于攻毒 2 组，统计学上存在差异($P < 0.05$)。

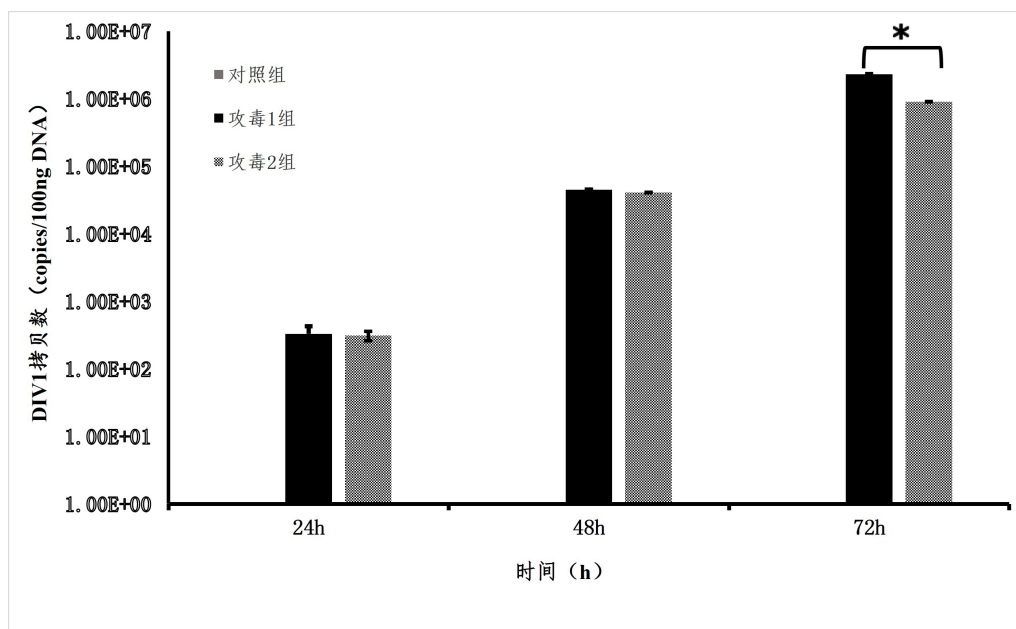
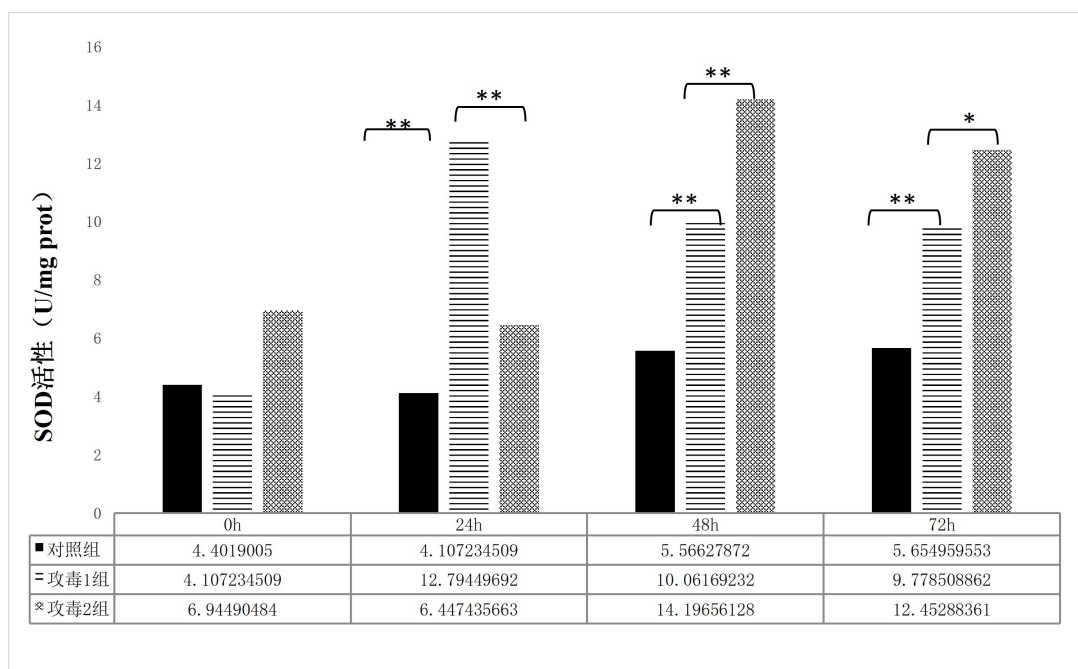


Figure 2. Viral copy numbers of DIV1 in shrimp gill filament tissues at 24 h, 48 h and 72 h across three treatment groups; The data are presented as mean \pm standard deviation (* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$)

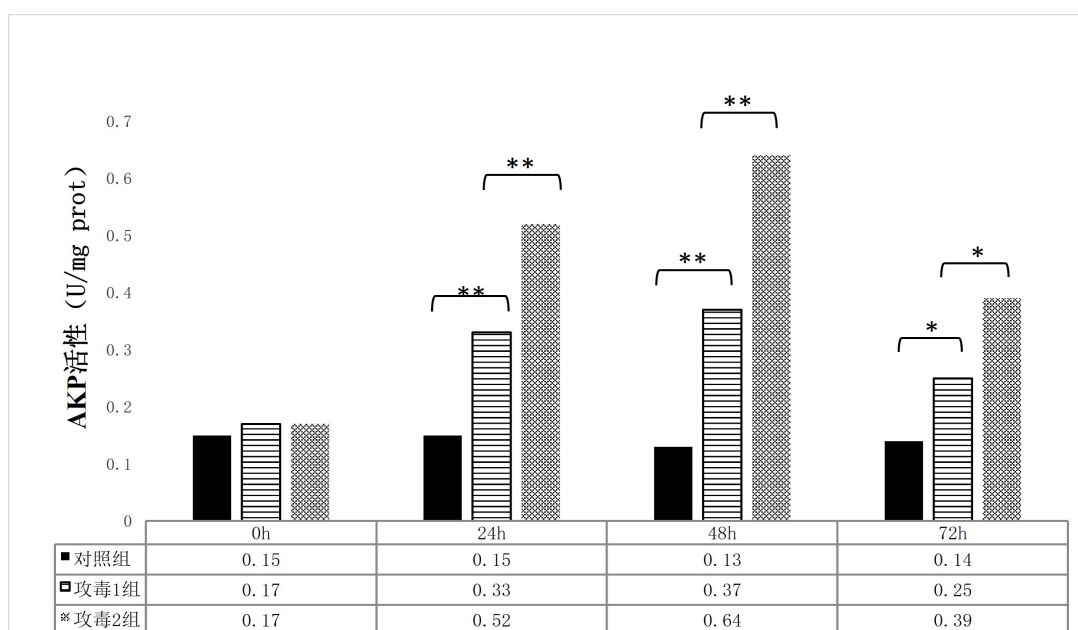
图 2. 3 个处理组在 24 h、48 h 和 72 h 时对虾鳃丝组织内 DIV1 的病毒拷贝数；数据显示为平均值 \pm 标准差(* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$)

3.3. 免疫酶类活性测定结果

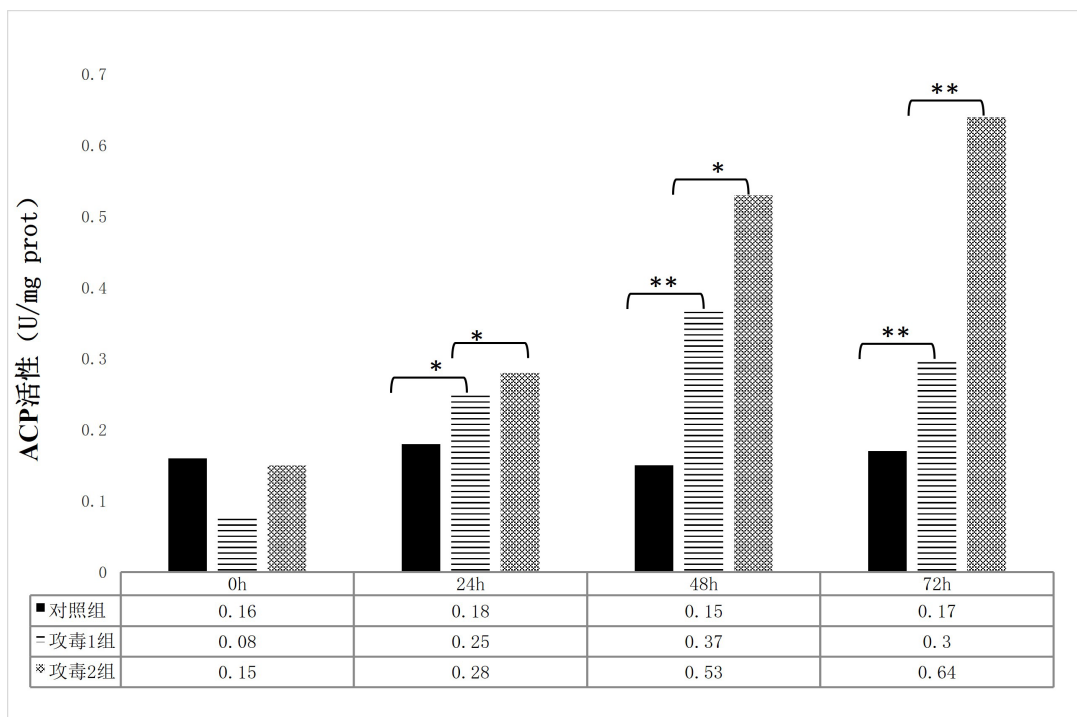
3 个处理组不同时间点采集的凡纳滨对虾肝胰腺组织 SOD、AKP、ACP 和 POD 酶活性变化如图 3 所示: 攻毒 1 组和攻毒 2 组中 4 个酶活指标在 24 h 和 48 h 均有显著提高($P < 0.01$), 攻毒 2 组在 72 h 时, 4 个酶活指标均比攻毒 1 组酶的活性下降幅度要小, 且 4 个酶活指标在 72 h 均高于攻毒 1 组。其中攻毒 2 组的 ACP 值在 72 h 时仍然呈现持续上升的趋势, 在 48 h 的 SOD、AKP 和 POD 值也显著高于攻毒 1 组 ($P < 0.01$)。



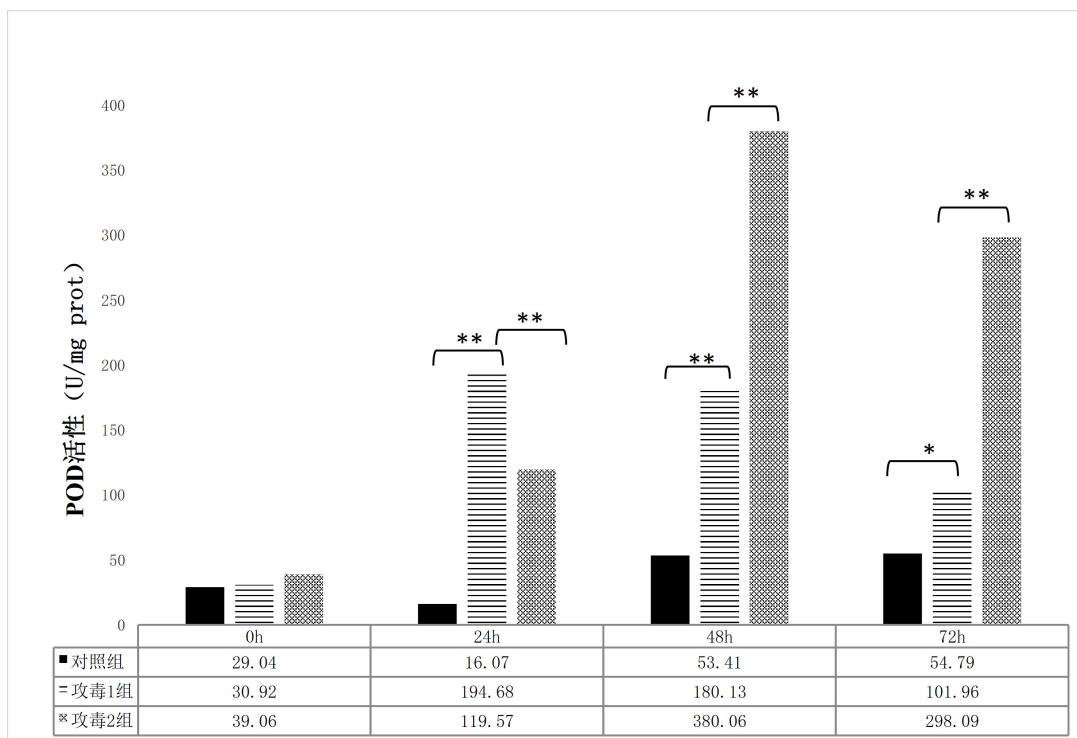
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 3. Enzyme activity changes of SOD, AKP, ACP, and POD in the hepatopancreas of *Litopenaeus vannamei* at 24 h, 48 h and 72 h across three treatment groups; The data are presented as mean \pm standard deviation (* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$)

图 3. 3 个处理组在 24、48 和 72 h 凡纳滨对虾肝胰腺 SOD、AKP、ACP 和 POD 的酶活性变化, 数据显示为平均值 \pm 标准差(* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$)

4. 讨论

银翘板蓝根散作为复方中草药制剂,在对虾病毒性疫病防控中展现出抗病毒、免疫增强、机体调理的多重作用。方中板蓝根含靛玉红、板蓝根多糖等活性成分,能抑制对虾体内病毒的吸附、复制与增殖,阻断病毒在细胞内的扩散传播;金银花、连翘中的绿原酸、连翘苷等物质可破坏病毒包膜结构,降低病毒侵染力,能有效减轻对虾病毒性疫病的临床症状,降低感染后的死亡率。制剂中的多糖类、黄酮类成分可激活对虾的血淋巴细胞活性,提升体内超氧化物歧化酶、溶菌酶等免疫酶的分泌水平,增强对虾的非特异性免疫能力,强化机体对病毒的抵抗力,从根源上降低对虾被病毒感染的概率[14][15]。该复方在临床上已经证实对白斑综合征病毒有较好的治疗和预防疗效,目前还没有针对对虾虹彩病毒的有效中草药方剂的研制,本研究试验了银翘板蓝根散对对虾虹彩病毒的防治作用,结果发现该复方虽然不能完全阻断凡纳滨对虾的发病死亡,但可以降低该病的死亡率和急剧死亡的峰值,保护率也比阳性对照组提高了近20%。同时通过各组 DIV1 病毒拷贝数结果分析,我们认为该复方可以有效抑制 DIV1 在对虾体内的复制,这与保护率结果相一致,表明该复方能有效缓解 DIV1 感染带来的急性致死效应。另外,本研究中服用复方制剂的实验组对虾存活率仅为 30%,这个实验结果可能与实验室养殖水体较小,缓冲能力较弱有关,后续可以在小面积养殖池塘再进行临床实验,实验结果可能更加贴近生产实际。

水生动物肝胰腺的抗氧化能力是衡量肝胰腺以及动物健康水平的重要指标,甲壳动物体内抗氧化能力主要与 SOD、POD、ACP、AKP 等指标相关[16],提高肝胰腺抗氧化能力对促进甲壳动物的生长及提高其抗病能力起到至关重要的作用。SOD 通过催化超氧化物自由基生成 O_2 和 H_2O_2 ,阻止胞内活性氧生成,延缓细胞老化,它与甲壳动物的免疫能力显示出良好的相关性[17]。本研究发现经 DIV1 感染的对虾,SOD 活性从 24 h 到 72 h 均有显著的提升,通过图 3(a)显示攻毒 1 组中 SOD 活性先升高后降低,属于典型的“应激-衰竭”模式,而攻毒 2 组中 SOD 活性在 48 h 和 72 h 时虽然也呈现出“应激-衰竭”态势,但 SOD 活性较攻毒 1 组的对虾 SOD 值仍处于较高水平,下降趋势缓慢。因此,我们推测复方中的板蓝根多糖类及黄酮类物质不仅能够激活对虾体内抗氧化酶类相关基因的表达,提高了 SOD 的分泌水平,从而提高了 SOD 的酶活性,同时还可以延长虾体内高活性 SOD 的持续时间,提高对虾免疫活力。

POD 是广泛存在于生物体内的一种氧化酶,主要作用是氧化有害底物防止形成羟基自由基,与 SOD 协同发挥抗氧化作用[18]。本研究中攻毒 1 组 POD 活性的趋势与 SOD 一致,呈现典型的“应激-衰竭”特征,而攻毒 2 组 POD 活性在 48 h 和 72 h 始终保持较高水平,下降趋势缓慢。这一结果表明,该复方中草药可增强对虾体内 POD 的合成能力,在 DIV1 大量增殖的中后期,仍能通过催化过氧化氢等过氧化物分解,高效清除感染过程中产生的自由基,减轻氧化应激对造血、免疫器官的损伤,这与 72 h 攻毒 2 组病毒复制被抑制的结果相呼应,推测抗氧化能力的提升是该复方抵御 DIV1 感染的重要途径。

ACP、AKP 在生物体的免疫和代谢反应中具有重要的作用,ACP 作为免疫调节的功能酶,在巨噬细胞吞噬和分解异物的过程中具有提高对异物识别能力的作用,AKP 具有在碱性条件下催化水解磷酸单酯、转移磷酸基团的能力,是机体解毒过程中的重要特征酶[19][20]。本研究发现经 DIV1 感染的对虾,ACP 和 AKP 活性从 24 h 开始均呈现显著升高的趋势,其中攻毒 1 组 ACP 和 AKP 活性从 48 h 开始缓慢下降,呈现典型的“应激-衰竭”态势,而攻毒 2 组中 AKP 活性与上述 SOD 活性变化趋势类似,虽有缓慢下降,相较于攻毒 1 组其 AKP 活性仍然处于较高水平,而 ACP 直至 72 h 活性仍持续升高,未呈现下降趋势。由此,我们推测金银花、连翘中的绿原酸、连翘苷等物质对凡纳滨对虾免疫系统起到了活化作用,提高了虾体对 DIV1 病毒的吞噬和分解作用,同时银翘板蓝根散兼具清热解毒的功效,能缓解对虾因病毒感染引发的机体炎症反应,减少组织损伤。且 ACP 对该复方中草药中的某些成分更加敏感,可呈现持续的应激反应,从而提高 DIV1 的宿主识别率,有效抑制了病毒在对虾体内的增殖速度,降低死亡率。

综上, 银翘板蓝根散对凡纳滨对虾抗 DIV1 的保护作用是抗病毒作用与免疫调节作用协同的结果, 一方面通过复方活性成分直接抑制病毒中后期的复制, 减少病原对机体的损伤, 另一方面通过调控肝胰腺中的免疫酶类活性, 增强机体抗氧化能力和非特异性免疫功能, 提升虾体对 DIV1 的防御能力。

5. 结论

本研究证实, 银翘板蓝根散可抑制 DIV1 在凡纳滨对虾体内复制, 提升肝胰腺 SOD、POD 等免疫酶活性, 显著提高感染虾存活率。后续可优化该制剂的投喂剂量与周期, 开展池塘田间试验, 并深入探究其调控虾体免疫基因表达的分子机制, 为其产业化应用及水产 DIV1 防控提供更全面的理论与实践支撑。

参考文献

- [1] King, A.M.Q., Lefkowitz, E., Adams, M.J. and Carstens, E.B. (2012) *Virus Taxonomy: Ninth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses*. Elsevier Academic Press.
- [2] 张志灯. 福建部分沿海地区真鲷虹彩病毒初步调查及分析[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建农林大学, 2014.
- [3] Xu, L., Wang, T., Li, F. and Yang, F. (2016) Isolation and Preliminary Characterization of a New Pathogenic Iridovirus from Redclaw Crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Diseases of Aquatic Organisms*, **120**, 17-26. <https://doi.org/10.3354/dao03007>
- [4] Qiu, L., Chen, X., Zhao, R., Li, C., Gao, W., Zhang, Q., *et al.* (2019) Description of a Natural Infection with Decapod Iridescent Virus 1 in Farmed Giant Freshwater Prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Viruses*, **11**, Article 354. <https://doi.org/10.3390/v11040354>
- [5] Chen, X., Qiu, L., Wang, H., Zou, P., Dong, X., Li, F., *et al.* (2019) Susceptibility of *Exopalaemon carinicauda* to the Infection with Shrimp Hemocyte Iridescent Virus (SHIV 20141215), a Strain of Decapod Iridescent Virus 1 (DIV1). *Viruses*, **11**, Article 387. <https://doi.org/10.3390/v11040387>
- [6] 童科. 维生素 D3 在南美白对虾生长及抗十足目虹彩病毒 1(DIV1)过程中的功能研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2023.
- [7] 全国水产标准化技术委员会. GB/T 28630.2-2012 白斑综合征(WSD)诊断规程第 2 部分: 套式 PCR 检测法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [8] 全国水产标准化技术委员会. GB/T 25878-2010 对虾传染性皮下及造血组织坏死病毒(IHHNV)检测 PCR 法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [9] 全国水产标准化技术委员会. SC/T 7232-2020 虾肝肠胞虫病诊断规程[S]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
- [10] 全国水产标准化技术委员会. SC/T 7237-2020 虾虹彩病毒病诊断规程[S]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
- [11] 全国水产标准化技术委员会. SC/T 7233-2020 急性肝胰腺坏死病诊断规程[S]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
- [12] 全国水产标准化技术委员会. SC/T 7228-2019 传染性肌肉坏死病诊断规程[S]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- [13] Qiu, L., Chen, X., Guo, X., Gao, W., Zhao, R., Zhang, Q., *et al.* (2020) A TaqMan Probe Based Real-Time PCR for the Detection of Decapod Iridescent Virus 1. *Journal of Invertebrate Pathology*, **173**, Article ID: 107367. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107367>
- [14] 王芸, 李健, 刘淇, 等. 5 种中草药对凡纳滨对虾生长及非特异性免疫功能的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(26): 8236-8239.
- [15] 黄永春, 陈辉辉, 涂晨凌, 等. 5 种中草药对凡纳滨对虾生长和抗病力的影响[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(1): 86-90.
- [16] 汪艳昭, 黄兰英, 张达娟, 等. 微囊藻毒素对凡纳滨对虾肝胰腺抗氧化能力及组织结构的影响[J]. 经济动物学报, 2022, 26(4): 253-260.
- [17] 吴峪楠. 克氏原螯虾肝胰腺损伤模型的构建与评估[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
- [18] 宋林生, 苏建国, 蔡中华, 等. 正常与感染白斑病的凡纳滨对虾几项免疫指标变化的初步研究[C]//中国动物学会甲壳动物学会分会成立 20 周年暨刘瑞玉院士从事海洋科教工作 55 周年学术研讨会. 北京: 科学出版社, 2003: 337-342.
- [19] 李海兵, 宋晓玲, 韦嵩, 等. WSSV 感染对克氏原螯虾血细胞吞噬和肝胰腺磷酸酶活性的影响[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(2): 78-82.

-
- [20] Zhang, R., Chen, Q., Xiao, R., Xie, L., Zeng, X. and Zhou, H. (2001) Inhibition Kinetics of Green Crab (*Scylla serrata*) Alkaline Phosphatase by Zinc Ions: A New Type of Complexing Inhibition. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)—Protein Structure and Molecular Enzymology*, **1545**, 6-12. [https://doi.org/10.1016/s0167-4838\(00\)00254-5](https://doi.org/10.1016/s0167-4838(00)00254-5)