

DOI: 10.20098/j.cnki.1001-5132.2024.0728

鲤春病毒血症的检测技术与防控研究进展

葛明峰¹, 徐胜威^{1*}, 景宏丽², 王建平¹, 高隆英³, 付志明¹, 王雯琮¹

(1.宁波市海洋与渔业研究院, 浙江 宁波 315012;

2.中国检验检疫科学研究院, 北京 100176;

3.中华人民共和国大铲湾海关, 广东 深圳 518102)

摘要: 鲤春病毒血症(Spring Viremia of Carp, SVC)是由鲤春病毒血症病毒(Spring Viraemia of Carp Virus, SVCV)引起的一种急性、出血性的病毒性疾病。SVC 是影响鲤科鱼类养殖产业及观赏鱼类贸易较为严重的疾病, 目前尚无有效的治疗药物, 只能通过消毒、检验检疫、日常管理等方式进行预防。对该病的诊断主要以《鲤春病毒血症诊断规程》(GB/T 15805.5—2018)为依据, 同时基于重组酶聚合酶扩增(Recombinase Polymerase Amplification, RPA)等快速检测技术和试剂盒的开发与应用为 SVC 防治提供新方法。为此, 针对 SVC 的流行特点、临床症状、近几年监测情况、病原检测技术、致病机理、疫苗和药物防控等方面进行了梳理和总结, 并展望了 SVC 的防治策略和方向, 为今后更深入研究该疫病提供参考。

关键词: 鲤春病毒血症; 鲤春病毒血症病毒; 检测技术; 防治方法

中图分类号: S941.41

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2025) 01-0100-07

鲤春病毒血症(Spring Viremia of Carp, SVC)又称鲤鱼传染性腹水症, 已被列入世界动物卫生组织(World Organisation for Animal Health, WOAH)水生动物疫病名录, 我国也先后将其列为一类和二类动物疫病。同时, SVC 也是中华人民共和国进境动物检疫疫病名录中二类疫病、鱼类产地检疫规程鲤科鱼类的检疫对象。鲤春病毒血症病毒(Spring Viraemia of Carp Virus, SVCV)属于弹状病毒科, 鲤春病毒属。SVCV 长 80~180 nm, 直径 60~90 nm^[1], 其基因组由负义单链 RNA 组成, 长度约为 11 kb, 编码 5 种结构蛋白, 分别为糖蛋白、磷蛋白、核蛋白、基质蛋白和 RNA 聚合酶蛋白。

目前, SVC 在全世界范围内尚无开发有效疫苗产品及治疗药物, 且鲤科鱼类无法建立有效的自体免疫屏障, 一旦检测出阳性样品, 将对养殖生产造成巨大的经济损失。

本文对前期有关 SVC 的流行特点、临床症状、

致病机理等研究进行了归纳和总结, 并进一步探讨了近几年对该病的监测情况、病原检测技术的更新、疫苗和药物防控研究趋势, 对 SVC 系统性防治进行了展望, 以期为该疾病预防及水产养殖业的绿色健康可持续发展提供参考。

1 流行特点和临床症状

SVCV 首次在欧洲发现, 之后相继在亚洲和南美洲发现^[2]。2003 年我国首次在天津养殖场无临床症状的观赏鱼体内分离获得^[3]。根据 SVCV 核苷酸序列差异, 可进一步将 SVCV 分为 Ia、Ib、Ic 和 Id 4 种亚型^[4]。其中 Ia、Id 病毒株主要分离自亚洲、欧洲和南美洲; 1980 年发现的 Ib、Ic 病毒株, 主要流行于东欧^[5]。

SVC 传染性强, 一旦暴发, 鱼类的死亡率可达 90%以上^[6], 通常以苗种或夏花等苗期幼鱼最易感染。SVCV 传染源为病鱼、死鱼和带毒鱼, 也可通

收稿日期: 2024-07-30.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 宁波市公益类科技计划项目(2022S169)。

第一作者: 葛明峰, 工程师, 主要研究方向: 水生生物病害防治。E-mail: 910342950@qq.com

*通信作者: 徐胜威, 工程师, 主要研究方向: 水生生物病害防治。E-mail: 546207546@qq.com

过某些水生吸血寄生虫(鲺、尺蠖、鱼蛭)以及水等媒介传播^[7]。病毒在水中可维持4周以上的感染活性^[8]。发病水温为11~17℃,20℃时有所下降,一般超过22℃鱼类不再发病。这可能跟水温高,鱼类机体代谢旺盛,免疫反应较为强烈有关^[9]。

感染SVC病鱼的症状为:呼吸困难、运动失调(侧游、顺水漂流或游动异常)、腹部膨大、眼球突出、肛门红肿、皮肤和鳃出现渗血。剖检发现:感染SVC病鱼的心脏、鳃、肌肉、肾脏、消化道、腹腔等部位会有出血现象^[10]。组织病理多表现为:肝多灶性坏死、脾脏网状内皮细胞增生、胰腺有非化脓性炎症、肾小管空泡化以及淋巴管内聚集有大量的细胞碎片^[11-12]。

2 监测情况

2004年江苏省SVC疫情暴发后,次年国家实施了国家水生动物疫病监测计划,将SVC纳入监测计划中,至今已连续开展了19年监测。截至目前,我国共监测到2种基因型的SVCV毒株,分别为Ia、Id基因型,其中Ia基因型SVCV毒株在我国流行较为广泛,Id基因型毒株是2020年我国首次在天津市2个鲤养殖场发现。根据《2022我国水生动物重要疫病状况分析》^[13]和《2022中国水生动物卫生状况报告》^[14]对SVC状况分析发现:从2005—2021年监测到的阳性样品中70.7%为鲤鱼,其他依次为锦鲤12.0%、金鱼8.0%、鲫鱼5.2%、草鱼1.8%、鲢鱼1.4%,其他品种为0.9%^[13-14]。鲤鱼的阳性检出率远大于其他品种,其养殖感染风险较高。锦鲤和金鱼等高价鱼类具有跨省和跨地区运输的特点,其发病鱼或隐性感染鱼会成为SVC的传染源,病毒传播风险较高。

SVC主要分布在我国东北的辽宁省和黑龙江省,华北的北京市、天津市、河北省和内蒙古自治区,西北的陕西省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区,华中的河南省、湖南省和湖北省。王姝等^[15]从2007—2015年对北京地区SVC的流行病学进行了研究,监测显示:北京地区SVCV以散发性流行为主,整体阳性率为4.16%。田飞焱等^[16]从2005—2017年对江西省SVCV感染情况进行分析,认为除锦鲤外,鲫鱼也是SVCV高度易感种,并发现了23种SVCV分离株均属于Ia基因亚型。邵玲等^[17]

从2013—2018年对上海地区SVCV的流行情况开展了调研,结果发现:SVCV在上海地区持续以低水平流行,并在不断进化。上述流行病学调查表明:虽然目前我国关于SVCV大面积暴发的报道较少,但是该病毒已普遍存在并流行,这会对鲤科鱼类的出口贸易造成极大的负面影响。

3 检测技术

目前尚未开发出针对SVCV的有效疫苗和药物,因此及时检测和诊断对疾病的预防与控制,以及对减少养殖损失至关重要。现在的免疫学检测技术主要有酶联免疫吸附试验(Enzyme Linked Immunosorbent Assay, ELISA)、病毒中和试验(Virus Neutralization Test, VNT)和间接荧光抗体试验(Indirect Fluorescent Antibody Test, IFAT)。然而,这些技术存在耗时费力,且SVCV抗血清效价不高等问题^[18]。分子生物学检测技术具有灵敏度高、特异性强等优点,在SVCV检测领域应用较为广泛,目前已有一些检测手段。

3.1 实时荧光定量的聚合酶链式反应(PCR)

目前,在农业农村部组织开展的全国水生动物防疫系统实验室检测能力验证工作中,对SVC的检测方法以《鲤春病毒血症诊断规程》(GB/T 15805.5—2018)^[19]为准,即首先对活的鱼体组织进行病毒分离培养,其次采用逆转录聚合酶链式反应(RT-PCR)或实时荧光定量PCR鉴定。实时荧光定量PCR(RT-qPCR)避免了常规PCR凝胶电泳检测扩增产物等后续操作,同时减少了样品污染,已在分子检测中广泛应用^[20]。安伟等^[21]通过SVCV的核蛋白基因序列,建立了SYBR Green I RT-qPCR检测技术,该方法的SVCV检测下限为 100.76 mL^{-1} (TCID₅₀),比常规PCR灵敏100倍,且特异性强、重复性好。Shao等^[22]设计了2对SVCV N基因保守区的引物,RT-qPCR分析表明:2对引物均具有良好的特异性,能够有效检测出系统发育上相距较远的分离株。通过对大量养殖鱼类的测试表明:N靶向策略比G靶向方法更为可靠。

3.2 重组酶聚合酶扩增技术

重组酶聚合酶扩增(Recombinase Polymerase Amplification, RPA)技术是一种核酸恒温扩增方法,优点是反应速度快且等温、对硬件设备要求低、易

于小型化, 适合野外和现场即时检验(Point-of-Care Testing, POCT)^[23]. 该方法克服了 PCR 技术(传染 Taq 酶、实时荧光 PCR、数字荧光 PCR 等)检测设备复杂、循环介导等温扩增(LAMP)不能长链扩增且易受污染而出现假阳性等弊端. 梁君妮等^[24]根据 SVCV 的 G 基因设计特异性引物, 建立了基于 RPA 技术的 SVCV 检测方法, 可在 20 min 内完成检测, 最低检出限为 $89.2 \mu\text{L}^{-1}$ (拷贝), 灵敏度高于 RT-PCR, 且 RPA 能够有效检出 RT-PCR 弱阳性样品, 表明该方法适合基层实验室及现场检测. 田城城等^[25]创立了基于 RPA 的 SVCV 快检技术, 通过灵敏度、特异性、稳定性等系列试验, 证明该技术可以替代 RT-PCR, 实现 POCT 的可能. Cong 等^[26]采用 RT-RPA 和 RT-PCR 方法对 65 份样品进行 SVCV 检测, 得到相同的结果, 表明其建立的检测方法在实验室和临床样品诊断 SVCV 都具有潜在的应用价值. 同时, 基于免疫磁珠的 SVCV 核酸前处理技术联合 RPA 检测技术在渔场中进行现场应用, 实现快检已成为业内检测技术研究热点之一.

3.3 其他检测技术

刘瑶等^[27]通过设计 SVCV 最为保守的指纹序列和测序引物, 建立了 SVCV 焦磷酸测序检测方法, 该方法最低检出核酸量为 $10 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 可以检出常规 RT-PCR 不能检出的假阴性样本和弱阳性样本, 且对其他 8 种鱼类常见的病毒无交叉反应, 特异性强. Saleh 等^[28]利用 RT-LAMP 结合纳米生物技术, 无须扩增病毒 RNA 可以直接检测出临床样本中的 SVCV, 特异性达 100%, 测试时间为 15 min, 且所需设备简单、可操作性强, 适合在养殖现场检测. Tong 等^[29]根据 SVCV、传染性造血器官坏死病毒(IHNV)、病毒性出血性败血症病毒(VHSV)各自保守基因序列设计了 3 对特异性引物, 用生物素标记和氨基化修饰, 将其与荧光编码的微球偶联, 通过检测荧光信号建立同时检测 3 种病毒的液相芯片, 该方法对 SVCV 具有较高的灵敏性, 检测限为 $10 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 是一种新颖、简便、快速的检测方法. 朱裕敏等^[30]结合重组酶介导扩增(Recombinase Aided Amplification, RAA)和侧向流试纸条(Lateral Flow Dipstick, LFD)技术, 初步建立了 SVCV 现场可视化检测方法, 该方法不依赖复杂的仪器设备, 可在较短时间内完成检测, 且与常规检测方法具有较

高的符合率, 临床检测应用价值较高.

4 致病机理

有学者发现^[31-32]: 氧化应激和细胞凋亡是 SVCV 感染后导致鱼类发病的主要原因. 血红素加氧酶(HO-1)作为高度诱导性异型酶, 在 SVCV 感染引起的氧化应激、炎症等过程中发挥着重要作用, 其抑制 SVCV 增殖主要依赖环磷酸鸟苷/蛋白激酶 G(cGMP/PKG)的信号通路, 通过促进生成 CO 来实现^[33]. 在鲤上皮瘤细胞(EPC)中发现: 激活 Nrf2 (核转录因子 EF-E2 相关因子 2)ARE(抗氧化反应元件)信号通路可以抑制 SVCV 复制, 同时可以促进超氧化物歧化酶(SOD)和 HO-1 的分泌, 该研究从更深层次证明了 Nrf2 与 HO-1 间的调控关系^[34-35]. Yuan 等^[36]也认为 HO-1 作为细胞保护酶, 具有明显的抗病毒活性, 在 SVCV 感染的鲤鱼中 HO-1 在肾脏和鳃中表达下调. 王雪丽^[37]研究表明: SVCV N 蛋白通过自噬-溶酶体依赖途径降解干扰素(IFN)基因刺激因子(STING)的表达, 从而抑制 IFN 反应, 实现免疫逃逸. 这些研究丰富了对 SVCV 致病机理的认识, 同时为鱼类病毒性疾病的预防和治疗提供了新思路.

另有多位学者研究了宿主蛋白对 SVCV 侵染的影响. 张蕾^[38]认为热应激蛋白(HSP)在抗细胞凋亡、免疫等方面具有显著的调节作用. EPC 在转染过表达 HSP47 质粒后, SVCV 的表达量和病毒滴度与正常组相比显著降低, 而在 HSP47 基因沉默组中细胞坏死和凋亡比例则显著升高.

有研究表明^[39]: 与 HSP47 基因不同的是 HSP90 作为伴侣蛋白, 能够有效促进 SVCV 的复制. HSP90 过表达后能够显著上调 SVCV-G 的基因表达量和病毒滴度, 导致细胞凋亡率和坏死率显著提高. 李陈^[40]在研究宿主蛋白 HSC70 和 PHB 与 SVCV G 蛋白相互作用及其在病毒感染中的作用发现: HSC70 作为 MARCH8 和 SVCV G 蛋白的“脚手架”蛋白, 能够通过溶酶体途径降解 SVCV G 蛋白, 并与其形成复合物, 最终抑制病毒的增殖; 而 PHB 蛋白作为 SVCV G 蛋白的另一种互作蛋白, 可以促进 SVCV 的黏附和入侵. PHB 蛋白可能作为 SVCV 受体或共受体参与 SVCV 进入细胞, 这为靶向 SVCV 早期阶段的防控手段提供了参考. 香凤^[41]

首次使用三功能交联分子 Sulfo-SBED 和 ASB 标记 SVCV 病毒粒子,用于受体捕获实验.同时结合 RNA 干扰技术,验证了捕获蛋白的功能,筛选出 2 种与 SVCV 入侵感染有关的蛋白,即 CL3290. Contig2 和 CL51. Contig3. 鉴定 SVCV 特异性受体,有助于了解 SVCV 的感染机理,并可为研究疫苗及治疗方法提供理论依据.

5 防治方法

目前对于 SVC 还缺乏特效药,只能通过严格的检验检疫、严密监控、对病鱼及时隔离或扑杀等方法阻断该病的暴发和流行^[42].近年来,针对 SVC 疫苗开发以及有效药物成分对 SVCV 活性和效应机制研究正在不断开展和深入.

SVCV 糖蛋白(G)具有多个抗原决定簇,已成为目前疫苗和抗体研究的热点.林婧楠等^[43]通过 RT-PCR、构建重组质粒、细胞免疫荧光等技术建立了 SVCV G 蛋白酵母表面展示系统,该研究为酵母口服疫苗的研制提供了理论基础.郭晟^[44]利用功能化修饰的鱼类红细胞膜构建了靶向性的仿生纳米疫苗系统 CS-G@M-M,通过腹腔注射斑马鱼后,采用 qPCR、ELISA 技术进行攻毒实验,结果表明:该疫苗体系对 SVCV 的免疫保护率最高可达 85.33%,其免疫增效机制为靶向性仿生纳米疫苗系统可以延长疫苗在斑马鱼体内的持续作用时间,提高疫苗对抗原提呈细胞的提呈效率,并诱导肠黏膜免疫和系统性免疫应答,从而实现对 SVC 的高效防治^[44].Embregts 等^[45]通过重组 SVCV G 蛋白研制亚单位疫苗(DNA 疫苗),并将疫苗通过不同的方式进行鲤鱼免疫试验,取得了较好的免疫保护效率.

在药物研究方面,刘镭^[46]筛选出 2 种香豆素类化合物 C4 和 D5,其对 SVCV 复制的抑制率均超 90%.C4 可以促进 HO-1 的表达,从而提升干扰素的分泌量;D5 可以降低 SVCV G 蛋白功能,抑制细胞自噬.这 2 种香豆素均可以显著降低细胞的凋亡率,降低感染 SVCV 后斑马鱼的死亡率.宋大伟^[47]从合成的 22 种含氮杂环类香豆素衍生物中筛选出 4-苯基-2-硫-1,2,3,4-四氢化香豆素(S5)和 4-甲基-7-苯磺酰胺香豆素(N6)对 SVCV N 蛋白抑制率均在 94%以上,抗 SVCV 活性最佳.S5 和 N6 可以有效

降低感染病毒幼鲤的死亡率和体内病毒含量,同时减少病毒在患病鱼与健康鱼之间的水平传播.沈毓峰^[48]研究发现:中草药牛蒡子活性成分 ARG 的 27 号衍生物 4-(2-甲基咪唑)辛氧基牛蒡子苷元(MON)在细胞和个体上抗 SVCV 水平高于 ARG,MON 在脾和肾中抗 SVCV 能力可持续到第 7 天.曾荣博^[49]筛选出一种发酵中草药 X1(主要成分为鱼腥草、板蓝根、南芪、杏仁)能够有效保护 EPC 形态,抑制 SVCV 引起的细胞病变效应(CPE),降低病毒滴度.该中草药能够使感染 SVCV 后斑马鱼的存活率提高 16.7%,有效抑制了 SVCV 在斑马鱼脑组织和肠道组织中的增殖,为开发抗 SVCV 药物提供了参考依据,也为中草药在水产养殖中的应用提供了新思路.

此外,有研究表明^[50]:在饲料中添加黄芪多糖、酵母葡聚糖和鼠李糖乳杆菌 GG 胞外多糖均有抗 SVCV 感染活性.斑马鱼在摄入多糖后其肠道菌群能够显著提高抗 SVCV 能力,可见以上 3 种多糖作为饲用添加物具有广阔的应用前景.刘佳等^[51]研究显示:维生素 C 对体外抑制 SVCV 侵染 EPC 具有显著作用($P<0.05$),且在浓度为 $80\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时对 SVCV 抑制效果最显著,能够降低 SVCV 引起的氧化应激.这为 SVCV 的防治提供了新思路,也为生产高效的药物及疫苗提供了参考.

6 展望

鲤科鱼类是我国重要的经济鱼类,已成为重要的支柱产业.2022 年我国鲤科鱼类养殖产量 1990 万 t,占淡水鱼类养殖总产量 2640 万 t 的 75.4%.我国作为观赏性鲤科鱼类的主要出口国,对世界观赏鱼产业发展及产品供给提供了重要保障.研究表明^[52]:鲤幼鱼感染 SVCV 发病后死亡率高达 70%以上.2019—2022 年,全国 SVC 专项监测覆盖养殖鲤鱼 1145 万 t,检疫 1336 批次,检出阳性率 4.79%.从历年监测可知:SVCV 通过原良种场和苗种场传出并扩散的风险较高,苗种场一旦污染 SVC,将极大威胁我国鱼类种质资源存量以及优良亲本和苗种供应战略保障,造成的损失不可估量.

SVCV 属具囊膜的 RNA 病毒,由于该病在全世界范围内尚无有效的疫苗开发产品,养殖对象

无法建立有效的自体免疫屏障,一旦检出阳性样品,根据 WOAHA 法典必须实施净化、扑杀等无害化处理,否则会造成巨大的经济损失。因此,对于 SVC 防治,要从“亡羊补牢”式的后期补救转为“防患于未然”的前端应对。首先,应加大原良种场、苗种场和观赏鱼 SVC 监测力度,开展水生动物苗种产地检疫工作,逐步建立跨省和跨地区调运检疫制度,防止病原随苗种带入,从源头上控制和减少病害流行。其次,应不断加强现场快速检测试剂盒和便携式设备的研发及推广应用。尽管梁君妮等^[24]和 Saleh 等^[28]创建的 SVCV 检测技术已基本满足现场检测需求,但仍存在核酸提取步骤繁琐等问题,基层检测需要大量操作简易且成本较低的快检试剂盒。再者,应加强生物安保意识的宣传,筑牢生物安全屏障,改变传统的养殖模式,提高防病意识和管理水平。同时,需要关注 SVCV 和鲤浮头病毒(CEV)以及锦鲤疱疹病毒(KHV)共同感染鲤科鱼类的情况,后 2 种病毒也会引起鲤科鱼类出现严重疾病。已有研究发现^[53]:鲤科鱼类存在 SVCV 和 CEV、SVCV 和 KHV 共感染的现象。

针对 SVC 的疫苗研究已经取得了一定的进展,张晨^[54]构建了靶向性碳纳米管载疫苗系统,但大部分疫苗的最优抗原表位仍不清楚,有可能仅部分氨基酸对免疫原性起了关键作用。因此,对疫苗最优抗原表位的筛选可以作为后续研究的一个重点,如通过噬菌体展示肽库等技术手段。随着对疫苗免疫机制的深入研究,研发更高效的抗原、免疫佐剂和递送系统组成的多组分疫苗,可以进一步提高疫苗的免疫保护效果,获得更为显著的防治效果。郭晟^[44]探究了抗 SVC 药物在细胞和斑马鱼等模式生物上的作用机制,但是仍有待于在其他更高经济价值鱼上进行验证和应用,为后续开发具有我国自主知识产权的新药提供坚实的理论依据。同时,开发绿色、高效、环境友好的药物受到了众多研究者的极大关注,中草药的有效成分能够增加机体营养、增强免疫功能、提高抗 SVCV 功效且不容易形成耐药性,可以成为今后药物开发的研究重点之一。沈毓峰^[48]、曾荣博^[49]等学者筛选的中草药在细胞和个体上对抗 SVCV 具有较好的活性,可以为后续开发新型抗 SVCV 药物提供参考。

综上,应加快推进针对 SVC 新渔药的研制,以满足鲤科鱼类养殖生产和管理的需要。

参考文献:

- [1] AHNE W, BJORKLUND H V, ESSBAUER S, et al. Spring viremia of carp (SVC)[J]. *Diseases of Aquatic Organisms*, 2002, 52(3):261-272.
- [2] PADHI A, VERGHESE B. Detecting positively selected codons in the glycoprotein of spring viraemia of carp virus (SVCV) isolates from the USA and China[J]. *Journal of Fish Diseases*, 2008, 31(10):785-791.
- [3] LIU H, GAO L, SHI X, et al. Isolation of spring viraemia of carp virus (SVCV) from cultured koi (*Cyprinus carpio* koi) and common carp (*C. carpio carpio*) in P. R. China[J]. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 2004, 24(4):194-202.
- [4] WARG J V, DIKKEBOOM A L, GOODWIN A E, et al. Comparison of multiple genes of spring viremia of carp viruses isolated in the United States[J]. *Virus Genes*, 2007, 35(1):87-95.
- [5] PADHI A, VERGHESE B. Molecular evolutionary and epidemiological dynamics of a highly pathogenic fish rhabdovirus, the spring viremia of carp virus (SVCV)[J]. *Veterinary Microbiology*, 2012, 156(1/2):54-63.
- [6] BJÖRKLUND H V, HIGMAN K H, KURATH G. The glycoprotein genes and gene junctions of the fish rhabdoviruses spring viremia of carp virus and hiram rhabdovirus: analysis of relationships with other rhabdoviruses[J]. *Virus Research*, 1996, 42(1/2):65-80.
- [7] AHNE W. *Argulus foliaceus* L. and *Piscicola geometra* L. as mechanical vectors of spring viraemia of carp virus (SVCV)[J]. *Journal of Fish Diseases*, 1985, 8(2):241-242.
- [8] 王姝, 徐立蒲, 王静波, 等. 鲤春病毒血症风险分析[J]. *北京农业*, 2012(18):107-110.
- [9] 蒋昕彧, 王啸宇, 裴超, 等. 鲤病毒性疾病发生与防控的研究进展[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(2):509-517.
- [10] FIJAN N. Spring viraemia of carp and other viral diseases and agents of warm-water fish[J]. *Fish Diseases and Disorders*, 1999, 3:177-244.
- [11] GHASEMI M, ZAMANI H, HOSSEINI S M, et al. Caspian white fish (*Rutilus frisii* kutum) as a host for spring viraemia of carp virus[J]. *Veterinary Microbiology*, 2014, 170(3/4):408-413.
- [12] MISK E, GARVER K, NAGY E, et al. Pathogenesis of spring viremia of carp virus in emerald shiner *Notropis atherinoides* Rafinesque, fathead minnow *Pimephales*

- promelas* Rafinesque and white sucker *Catostomus commersonii* (Lacepede)[J]. Journal of Fish Diseases, 2016, 39(6):729-739.
- [13] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站. 2022 我国水生动物重要疫病状况分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
- [14] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站. 2022 中国水生动物卫生状况报告[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
- [15] 王姝, 徐立蒲, 王小亮, 等. 北京地区 2007—2015 年鲤春病毒血症病毒感染流行病学研究[J]. 病毒学报, 2017, 33(4):593-597.
- [16] 田飞焱, 欧阳敏, 谢世红, 等. 江西省 2005—2017 年鲤春病毒血症病毒感染流行病学研究[J]. 水产学杂志, 2019, 32(2):32-36.
- [17] 邵玲, 肖雨, 汤茜, 等. 上海地区 2013—2018 年鲤春病毒血症病毒的分离和进化特征分析[J]. 水产科技情报, 2019, 46(5):253-258.
- [18] 付峰, 刘荭, 黄健, 等. 鲤春病毒血症病毒(SVCV)的研究进展[J]. 中国水产科学, 2006, 13(2):328-334.
- [19] GB/T 15805.5—2018. 鲤春病毒血症诊断规程[S].
- [20] BUSTIN S A. Developments in real-time PCR research and molecular diagnostics[J]. Expert Review of Molecular Diagnostics, 2010, 10(6):713-715.
- [21] 安伟, 肖雨, 张明辉, 等. 鲤春病毒血症病毒 SYBR Green I 荧光定量 RT-PCR 方法的建立[J]. 中国预防兽医学报, 2015, 37(9):699-702.
- [22] SHAO L, XIAO Y, HE Z K, et al. An N-targeting real-time PCR strategy for the accurate detection of spring viremia of carp virus[J]. Journal of Virological Methods, 2016, 229:27-34.
- [23] JAMES A, MACDONALD J. Recombinase polymerase amplification: emergence as a critical molecular technology for rapid, low-resource diagnostics[J]. Expert Review of Molecular Diagnostics, 2015, 15(11):1475-1489.
- [24] 梁君妮, 尹伟力, 谢爽, 等. 重组酶聚合酶扩增技术快速检测鲤春病毒血症病毒(SVCV)方法的建立[J]. 中国预防兽医学报, 2019, 41(10):1037-1040.
- [25] 田城城, 兰文升, 叶仕根. 基于 RPA 的鲤春病毒血症病毒核酸检测技术的建立与评价[J]. 中国动物检疫, 2020, 37(2):99-106.
- [26] CONG F, ZENG F W, WU M L, et al. Development of a real-time reverse transcription recombinase polymerase amplification assay for rapid detection of spring viremia of carp virus[J]. Molecular and Cellular Probes, 2020, 50:101494.
- [27] 刘瑶, 尹伟力, 张四化, 等. 鲤春病毒血症病毒焦磷酸测序检测技术的建立[J]. 水产科学, 2017, 36(4):449-455.
- [28] SALEH M, SOLIMAN H, SCHACHNER O, et al. Direct detection of unamplified spring viraemia of carp virus RNA using unmodified gold nanoparticles[J]. Diseases of Aquatic Organisms, 2012, 100(1):3-10.
- [29] TONG G X, WEI X X, YIN W L, et al. Development of a liquid chip technique to simultaneously detect spring viremia of carp virus, infectious hematopoietic necrosis virus, and viral hemorrhagic septicemia of salmonids[J]. Journal of AOAC International, 2017, 100(1):159-164.
- [30] 朱裕敏, 吴江, 廖立珊, 等. 鲤春病毒血症病毒 RT-RAA-LFD 检测方法的建立[J]. 中国预防兽医学报, 2023, 45(9):916-921.
- [31] LI C, LI L J, JIN L, et al. Heme Oxygenase-1 inhibits spring viremia of carp virus replication through carbon monoxide mediated cyclic GMP/Protein kinase G signaling pathway[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2018, 79:65-72.
- [32] LIU L, TU X, SHEN Y F, et al. The replication of spring viraemia of carp virus can be regulated by reactive oxygen species and NF- κ B pathway[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2017, 67:211-217.
- [33] 李聪. 血红素加氧酶 1 抑制鲤春病毒血症病毒的机制研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.
- [34] SHAO J H, HUANG J, GUO Y N, et al. Up-regulation of nuclear factor E2-related factor 2 (Nrf2) represses the replication of SVCV[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2016, 58:474-482.
- [35] YANG Y, HUANG J, LI L J, et al. Up-regulation of nuclear factor E2-related factor 2 upon SVCV infection[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2014, 40(1):245-252.
- [36] YUAN J F, SU N, WANG M, et al. Down-regulation of heme oxygenase-1 by SVCV infection[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2012, 32(2):301-306.
- [37] 王雪丽. 鲤春病毒血症病毒 N 蛋白通过自噬-溶酶体途径降解 STING 抑制 IFN 产生的分子机制[D]. 大连: 大连海洋大学, 2023.
- [38] 张蕾. 宿主蛋白 HSP47 对鲤春病毒血症病毒侵染的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2020.
- [39] 王楠. 热休克蛋白 HSP90 对鲤春病毒血症病毒复制影响的初步研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2021.
- [40] 李陈. 宿主蛋白 HSC70 和 PHB 与鲤春病毒血症病毒 G 蛋白相互作用及其在病毒感染中的作用研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2023.
- [41] 香凤. 鲤春病毒血症病毒的受体捕获及初步筛选[D].

- 深圳: 深圳大学, 2020.
- [42] 林婧楠, 赵景壮, 卢彤岩, 等. 鲤春病毒血症病毒的研究进展[J]. 水产学杂志, 2018, 31(5):44-49, 57.
- [43] 林婧楠, 赵景壮, 刘森, 等. 鲤春病毒血症病毒糖蛋白酵母表面展示系统的建立[J]. 水生生物学报, 2019, 43(5):977-982.
- [44] 郭晟. 鲤春病毒血症仿生疫苗构建及其免疫效果评价[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2022.
- [45] EMBREGTS C W E, RIGAudeau D, TACCHI L, et al. Vaccination of carp against SVCV with an oral DNA vaccine or an insect cells-based subunit vaccine[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2019, 85:66-77.
- [46] 刘镭. 香豆素类化合物抗鲤春病毒血症病毒活性及作用机制研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2018.
- [47] 宋大伟. 含氮杂环类香豆素衍生物抗鲤春病毒血症病毒活性与机制初探[D]. 宁波: 宁波大学, 2021.
- [48] 沈毓峰. 牛蒡子苷元衍生物抗鲤春病毒血症病毒活性及机制研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2021.
- [49] 曾荣博. 抗鲤春病毒血症病毒和大口黑鲈弹状病毒发酵中草药的筛选及其效果评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2023.
- [50] 李钰. 利用斑马鱼模型研究 3 种天然多糖抗鲤春病毒血症病毒效应机制[D]. 武汉: 华中农业大学, 2021.
- [51] 刘佳, 卢玉婷, 刘芸娜, 等. 维生素 C 体外抑制 SVCV 入侵鲤鱼上皮瘤细胞的初步研究[J]. 中国兽医杂志, 2021, 57(10):10-14.
- [52] 李泽明. 鲤春病毒血症病毒 M 单克隆抗体的制备及鲤天然免疫蛋白 TRIM32 特性初步研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [53] 王姝, 徐立蒲, 王小亮, 等. 鲤浮肿病毒混合感染的监测与分析[J]. 检验检疫学刊, 2018, 28(4):6-9.
- [54] 张晨. 靶向性碳纳米管载疫苗系统防治鲤春病毒血症研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2019.

Research progress on detection technology and prevention of spring viremia of carp

GE Mingfeng¹, XU Shengwei¹, JING Hongli², WANG Jianping¹, GAO Longying³,
FU Zhiming¹, WANG Wenqiong¹

(1.Ningbo Ocean and Fisheries Research Institute, Ningbo 315012, China;

2.Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing 100176, China;

3.Dachan Bay Customs of the People's Republic of China, Shenzhen 518102, China)

Abstract: The spring viremia of carp (SVC) is an acute and hemorrhagic viral disease caused by spring viremia of carp virus (SVCV). SVC is a serious disease that affects the carp fish farming industry and the trade of ornamental fish. Currently, there are no effective therapeutic drugs. Prevention can only be done through measures such as disinfection, inspection and quarantine, daily management, as well as others. The diagnosis of SVC is mainly based on *Protocol of diagnosis for spring viremia of carp* (GB/T 15805.5-2018). The development and application of rapid detection technologies and kits based on Recombinant Polymerase Amplification (RPA) provide new means for the prevention and treatment of SVC. This article summarizes the epidemic characteristics, clinical symptoms, monitoring in recent years, pathogen detection technology, pathogenic mechanisms, vaccines, and drug prevention and control of SVC. Meanwhile, the preventive treatment strategies and directions of SVC are also discussed, providing reference for the more in-depth research on this disease in the future.

Key words: spring viremia of carp; spring viremia of carp virus; detection technology; prevention and control methods

(责任编辑 史小丽)