

Huang L, Chu K, Cai X, *et al.* isolation and identification of potential pathogen of an emerging disease white syndrome in *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2025, 49(11): 102514. [黄雷, 褚宽, 蔡雪, 等. 罗氏沼虾新发疫病白体综合症潜在病原分离与鉴定 [J]. 水生生物学报, 2025, 49(11): 102514.]

罗氏沼虾新发疫病白体综合症潜在病原分离与鉴定

黄雷^{1*} 褚宽^{1*} 蔡雪¹ 陈静¹ 彭先启¹ 步夏莲¹ 牛晨¹ 张海琪¹
孙伟杰^{2#} 姚嘉赞^{1#}

(1. 浙江省淡水水产研究所, 农业农村部淡水渔业健康养殖重点实验室, 浙江省鱼类健康与营养重点实验室, 湖州市渔业环境与水产品质量安全重点实验室, 湖州 313001; 2. 嘉兴市农业科学研究院桐乡农业科学研究所, 嘉兴 314500)

摘要: 为探明罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)新发疫病“白体病”(暂命名)的病因及防控策略, 通过流行病学调查研究了该病的典型症状与潜在病原, 并进一步筛选了其防治药物。结果发现, 该病主要流行于罗氏沼虾种虾养殖场, 其临床症状为体色发白、肌肉混浊及肝胰腺萎缩, 组织病理特征包括肌肉组织破裂、肝胰腺上皮细胞坏死、肠道壁细胞溶解及鳃炎症细胞增多。经病虾肝胰腺组织液回感试验证实致病菌存在, 并从6个养殖场的病虾中分离出8株优势菌株, 鉴定为葡萄牙柠檬酸杆菌(*Citrobacter portucalensis*)和产气克雷伯氏菌(*Klebsiella aerogenes*)。人工感染试验表明, 所有分离菌株均对罗氏沼虾具致病性, 其中葡萄牙柠檬酸杆菌XN241202和产气克雷伯氏菌GY241001致死率最高。研究将该病命名为罗氏沼虾白体综合症(White Syndrome, WS)。体外抑菌试验显示, 头孢哌酮、恩诺沙星、氟苯尼考等抗生素及百里酚、牛至油、白屈菜红碱、藿香提取物等植物源药物对菌株XN241202和GY241001具有显著抑菌效果。体内试验表明, 饲料中添加1 mg/kg的恩诺沙星、氟苯尼考或牛至油可显著降低WS罗氏沼虾的死亡率($P < 0.05$)。研究结果为罗氏沼虾WS防控提供了重要科学依据, 对保障罗氏沼虾种业安全具有重要意义。

关键词: 白体综合症; 葡萄牙柠檬酸杆菌; 产气克雷伯氏菌; 中草药; 罗氏沼虾

中图分类号: S943 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2025)11-102514-11

doi: 10.3724/1000-3207.2025.2025.0076 **CSTR:** 32229.14.SSSWXB.2025.0076



罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)是世界上最大的淡水虾类, 具有生长快、食性广、抗逆性强等特点。自20世纪90年代罗氏沼虾规模化人工育苗技术取得突破以来, 我国快速跃升为全球最大的罗氏沼虾养殖国。据统计, 2023年我国罗氏沼虾养殖总产量达19.64万吨^[1], 产业链总产值超200亿元, 为渔民致富增收作出重要贡献。种业是罗氏沼虾产业的基础, 调研显示, 2024年罗氏沼虾种业企业有100余家, 年育苗量超过300亿尾, 且呈逐年上升趋势, 有力地保障了罗氏沼虾产业的可持续发展。

近年来, 受种质资源退化与养殖水体富营养化等因素影响, 罗氏沼虾育苗过程中病害问题日益凸显, 特别是由罗氏沼虾诺达病毒(*Macrobrachium rosenbergii* nodavirus)和极小病毒(Extra small virus)引起的罗氏沼虾“白尾病”^[2-4](又称肌肉白浊病、白体病), 曾多次导致全球罗氏沼虾苗种产量大幅下降, 造成巨大的经济损失。

2020年以来, 我国长三角罗氏沼虾种苗核心繁育带出现一种新型的罗氏沼虾“白体病”, 与罗氏沼虾“白尾病”不同, 该病主要在罗氏沼虾的种虾群体中传

收稿日期: 2025-03-08; **修订日期:** 2025-05-14

基金项目: 浙江省“尖兵”“领雁”研发攻关计划(2024C02005); 湖州市重点研发计划(2023ZD2032); 浙江省农业重大技术协同推广计划(2024ZDXT16); 浙江省财政专项(2023CZZX004)资助 [Supported by the Zhejiang Key Research and Development Project (2024C02005); Huzhou Key Research and Development Project (2023ZD2032); Zhejiang Agricultural Major Technology Collaborative Promotion Plan Project (2024ZDXT16); Zhejiang Financial Special Project (2023CZZX004)]

作者简介: 黄雷(1992—), 男, 助理研究员; 主要从事水生动物病害防控研究。E-mail: huanglein@sina.com 褚宽(1996—), 男, 硕士研究生; 主要从事水生动物病害防控研究。E-mail: kuan_chu@163.com *共同第一作者

通信作者: 孙伟杰, 高级工程师; E-mail: 13819041795@163.com 姚嘉赞, 博士, 研究员; E-mail: yaojiayun@126.com #共同通信作者

播,特别是在被转移到温室环境后,种虾出现肌肉白浊、肝胰腺萎缩等临床症状,伴随运动能力减弱、摄食量下降及繁殖能力显著降低,严重时可致死亡。该病对罗氏沼虾种质资源安全及产业经济效益构成严重威胁,成为制约其产业发展的新瓶颈问题。目前,关于该病病因尚未见报道,其防治策略亦不明确。中草药作为水产动物疾病防治的常见药物,不仅可直接抑制细菌和病毒,还能通过有机酸、生物碱等免疫活性成分增强动物免疫、抗病能力^[5,6]。目前,中草药已被应用于白斑综合症、传染性皮下和造血器官坏死病、弧菌病、气单胞菌病等多种虾类疾病的防治^[7-10]。但未见其用于罗氏沼虾“白体病”防控的报道。为探究罗氏沼虾“白体病”的病因及防治策略,本研究在罗氏沼虾苗种繁育主产区开展流行病学调查,依据典型临床症状将该病命名为罗氏沼虾白体综合症(White Syndrome, WS),并进一步研究其潜在病原和植物源药物,以期为该病防控提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

患病罗氏沼虾采集自浙江省湖州市的6家种虾养殖场,主要症状为体色发白、肌肉白浊等,平均体质量为 (38.2 ± 7.7) g。健康罗氏沼虾来源于浙江省淡水水产研究所综合试验基地,平均体质量为 (35.6 ± 6.3) g,实验前统一在养殖池中暂养7d,水温维持在 $(25 \pm 1)^{\circ}\text{C}$,虾摄食正常、活力良好,经聚合酶链式反应(PCR)检测确认未携带十足目虹彩病毒(Decapod iridescent virus 1, DIV1)、传染性早熟病毒(Infectious precocity virus, IPV)等常见病原体,且无细菌感染迹象。

脑心浸液(BHI)固体、肉汤培养基购自青岛海博生物技术有限公司,细菌基因组DNA提取试剂盒、PCR试验所需试剂购自天根生化科技(北京)有限公司,二甲基亚砷(DMSO)、磷酸盐缓冲液(PBS)购自北京索莱宝科技有限公司,药敏纸片购自常德比克曼生物技术有限公司,恩诺沙星粉、氟苯尼考粉购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司,植物源药物购自成都曼思特生物科技有限公司。

1.2 临床症状及组织病理观察

选取具有WS典型症状的罗氏沼虾,通过肉眼检查其体表及内脏器官的病变特征,并对肝胰腺、肌肉、鳃、尾扇、血液等组织进行显微镜检查,以确定是否存在寄生虫感染。采用HE染色法比较患病、健康罗氏沼虾肝胰腺的组织病理差异,肝胰腺组织经4%多聚甲醛固定后,依次进行包埋、切

片、染色、复染、脱水、封片等步骤,利用光学显微镜进行组织病理学观察。

1.3 组织液人工感染试验

随机选取10尾具有WS典型症状的罗氏沼虾,在无菌条件下采集肝胰腺组织,将样本剪碎后,按1:10比例加入无菌PBS制成匀浆悬液,经1000 r/min离心10min,弃去沉淀,重复上述离心和去沉淀步骤,得组织匀浆上清液。取部分上清液经 $0.22 \mu\text{m}$ 滤膜过滤除菌(即制得无菌组织滤液)。采用PBS制备组织液和组织滤液的10倍稀释液,所有样本分装后保存于 -20°C 备用。

采用制备好的组织液、组织滤液进行罗氏沼虾人工感染试验,设置4个感染组(组织液原液组、组织液10倍稀释液组、组织滤液原液组、组织滤液10倍稀释液组)及对照组,每组包含20尾健康的罗氏沼虾,在第二腹节处对虾进行肌肉注射,每尾注射100 μL 的组织液,对照组注射等体积无菌PBS。为确保实验结果的准确性,避免沼虾相互残杀干扰试验结果,本研究将每只虾置于独立的“虾公寓”单元格中进行隔离饲养。实验期间水温维持在 $(25 \pm 1)^{\circ}\text{C}$,连续观察记录5d内虾的死亡情况,并对濒死虾进行病原菌分离。

1.4 菌株分离及形态观察

取具有典型症状的罗氏沼虾,在无菌操作条件下取肝胰腺,划线接种于BHI平板,于 28°C 培养48h。挑取平板上的优势单菌落,通过连续3次划线纯化细菌,共获得8株细菌,观察菌落形态特征。采用革兰氏染色法,随机选取2株细菌,依次进行初染、媒染、脱色和复染步骤,用油镜观察细菌形态特征及染色特性。

1.5 分离菌16S rRNA及gyrB基因序列分析

将分离的菌株接种于BHI肉汤培养基,在 28°C 、150 r/min条件下培养18h,取1 mL菌液,采用试剂盒提取细菌DNA,并通过细菌16S rRNA和gyrB基因引物扩增目标序列^[11],扩增产物由杭州尚亚生物技术有限公司进行测序。采用EzBioCloud数据库(www.ezbiocloud.net/)对分离菌的16S rRNA基因序列进行同源性分析,同时使用NCBI数据库的BLAST工具对gyrB基因序列进行同源性分析,下载与之序列相似性较高的菌株序列,采用MEGA 12.0软件的邻接法(Neighbor-Joining, NJ)构建16S rRNA和gyrB基因的系统发育树。

1.6 分离菌回感试验

将8株分离菌分别接种于BHI肉汤培养基中,进行过夜培养。用无菌PBS将菌液浓度调整至 1.0×10^8 、 7.5×10^7 、 5.0×10^7 、 2.5×10^7 、 1.0×10^7 和 $7.5 \times$

10^6 CFU/mL, 每株菌均设置上述6个浓度的攻毒组及PBS对照组。每组包含20尾罗氏沼虾, 将其分别置于独立的“虾公寓”单元格中隔离饲养。细菌感染组的罗氏沼虾分别肌肉注射100 μ L菌悬液, 对照组注射等量无菌PBS, 连续观察并记录5d内罗氏沼虾的死亡数量及临床症状, 及时剖检濒死虾并分离病原菌。采用SPSS 19.0的概率单位图解法^[12]计算分离菌对罗氏沼虾的半数致死浓度(LD₅₀)。

1.7 药物敏感试验

选取对罗氏沼虾致病力最强的菌株XN241202和GY241001, 采用纸片扩散法(Kirby-Bauer法)测定其对8类23种药物的敏感性。将菌液浓度调整至 1×10^8 CFU/mL后均匀涂布于BHI固体培养基, 使用镊子将药敏纸片贴敷于培养基表面, 置于28℃培养24h, 测定抑菌圈直径, 并参照美国临床和实验室标准协会(Clinical and Laboratory Standards Institute, CLSI)发布的《抗微生物药物敏感性试验执行标准》对药敏测试结果进行判定。

1.8 植物源药物抑菌试验

测试41种植物源药物对菌株XN241202和GY241001的抗菌活性, 包括29种植物源药物单体和12种中草药提取物。所用植物源药物单体(纯度>98%)购自成都曼思特生物科技有限公司, 中草药提取物则依据李秋语等^[13]的方法制备。精确称取药物并溶于含10% DMSO的溶液中, 用无菌PBS将药物浓度调整至1 mg/mL, 并通过0.22 μ m滤膜进行除菌处理, 以备后续使用。采用牛津杯法对分离得到的菌株进行抗菌活性测试, 具体操作为取100 μ L浓度为 1×10^8 CFU/mL的菌液均匀涂布于BHI固体培养基上, 使用无菌打孔器(直径7 mm)在平板上制备加样孔, 然后在各孔中分别加入200 μ L上述配置的药物溶液, 置于28℃培养24h, 测量并记录抑菌圈直径。

1.9 药物保护试验

根据体外抑菌试验结果与《水产养殖用药明白纸(2024年1、2号)》中批准用兽药名录, 选取5种抗菌活性较强的药物, 通过药物饲喂试验评估其对罗氏沼虾WS的治疗效果。实验前制备拌药饲料, 将基础饲料粉碎后与药物混合(添加量1%, w/w), 充分搅拌均匀, 用制丸机压制成颗粒饲料, 并进行烘干处理, 最终饲料中药物浓度为1000 mg/kg。实验共设置5个待测药物组(百里酚、牛至油、白屈菜红碱、恩诺沙星、氟苯尼考)和对照组, 每组包含60尾具有WS典型症状的罗氏沼虾[平均体质量为(36.9 $\pm$ 4.5) g], 并将其平均分为3个重复组, 置于独立的“虾公寓”单元格中进行隔离饲养。每日投

喂2次, 药物组投喂拌药饲料, 对照组投喂基础饲料, 连续观察并记录10d内虾的死亡数量, 计算药物保护率。保护率的计算公式: 保护率(%)=(1-药物组死亡率/对照组死亡率) $\times$ 100。

1.10 数据处理与分析

采用SPSS 27.0.1软件的独立样本 T 检验(Independent t -test)对实验数据进行统计分析。所有图表均使用Origin 2021 (v9.8.5.212)或Microsoft Visio 2023 (v2103)绘制。

2 结果

2.1 罗氏沼虾WS的典型症状

通过对6家养殖场中健康与患WS罗氏沼虾进行临床症状比较分析, 明确罗氏沼虾WS的典型病症。与健康个体相比, 患病虾表现为行动迟缓、摄食量下降, 且在养殖期间出现零星死亡现象。雌性个体的发病率显著高于雄性, 病虾普遍呈现体色苍白、肌肉混浊、肝胰腺萎缩糜烂等症状, 此外部分病虾为“软壳虾”, 头部可见水泡样病变(图1)。

2.2 组织病理学观察

选取健康与患WS的罗氏沼虾进行组织病理学比较分析, 结果显示, 健康个体的肝胰腺、肠道、鳃及肌肉组织形态完整, 未发现明显病理损伤(图2c、2f、2i和2l)。相比之下, 患病个体的肝胰腺腺管形态不规则, 甚至出现破裂现象, 腺上皮细胞肿胀、坏死和脱落, 管腔内可见蓝染致密物(疑似细菌团块), 见有少量细胞核排列致密的新生腺管(图2a和2b); 肠道壁变薄, 黏膜层细胞溶解坏死、脱落, 肌层溶解变性, 固有结构完全丧失(图2d和2e); 鳃组

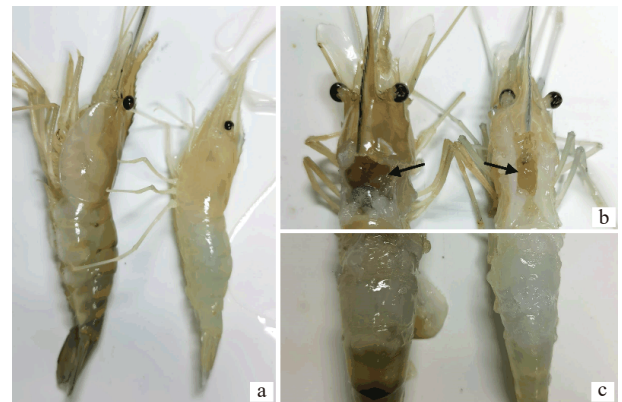


图1 罗氏沼虾WS的临床症状

Fig. 1 Clinical signs of *M. rosenbergii* with WS

a. 体色发白; b. 肝胰腺萎缩、糜烂; c. 肌肉白浊; 各图左、右侧分别为健康、患病虾

a. white body; b. hepatopancreas atrophy and erosion; c. muscle white turbidity; The left and right prawns in each image are healthy and diseased prawns, respectively

织局部炎性细胞浸润, 鳃丝间可见纤维素样渗出物(图 2g和2h); 肌纤维断裂溶解, 肌束排列紊乱, 呈现典型肌组织结构破坏及纹理模糊的病理特征(图 2j和2k)。

2.3 病原类型分析

从寄生虫、病毒、细菌三个方面分析WS罗氏沼虾的潜在病原。通过显微镜检查病虾的肝胰腺、肌肉、鳃、尾扇、血液等组织样本, 未检出寄生虫或虫卵。采用病虾肝胰腺组织匀浆液及其无菌滤液人工感染健康罗氏沼虾, 结果显示无菌滤液组未出现死亡, 而组织液攻毒组5d内死亡率均达100%(表 1), 且死亡沼虾均分离出优势细菌, 据此

初步推断病原为致病性细菌。

2.4 潜在病原菌分离鉴定

分离菌株形态特征 从6家养殖场的WS罗氏沼虾中共分离出8株优势菌株, 其编号分别为GY241001、GY241002、GY241101、XN241202、BLD241201、NTH241201、NTH241202和NAG241201。所有分离菌株在BHI培养基上的菌落形态一致, 呈现为灰色、圆形、表面光滑、湿润、不透明或半透明、边缘整齐、中央微隆起的特征, 培养24h后菌落直径为2—4 mm(图 3a)。革兰氏染色试验显示, 8株菌的菌体呈革兰阴性短杆状, 多为单生或成对排列(图 3b)。

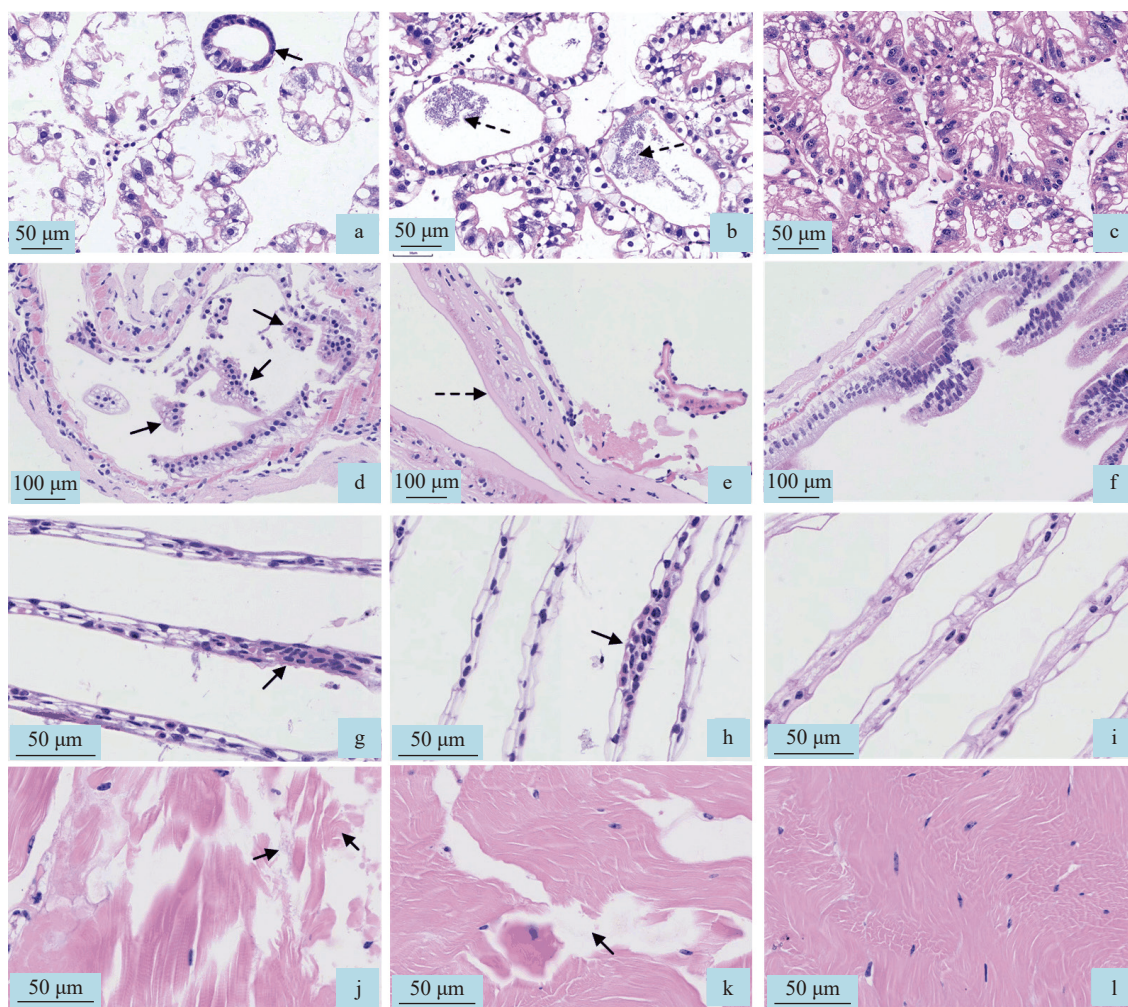


图 2 患WS罗氏沼虾的组织病理变化

Fig. 2 Histopathological changes of *M. rosenbergii* with WS

a—b. 病虾肝胰腺组织, 有新生腺管(实线箭头), 腺管内见疑似细菌团块的蓝染致密物(虚线箭头); c. 健康虾肝胰腺组织; d—e. 病虾肠道组织, 肠壁变薄(虚线箭头), 黏膜层细胞溶解坏死、脱落(实线箭头); f. 健康虾肠道组织; g—h. 病虾腮组织, 鳃丝局部炎症细胞增多(实线箭头); i. 健康虾腮组织; j—k. 病虾肌肉组织, 肌组织结构破坏及纹理模糊; l. 健康虾肌肉组织

a—b. Diseased hepatopancreas with nascent tubules (solid arrow) and blue-stained dense bacterial-like aggregates (dashed arrow) within tubules; c. Healthy hepatopancreas; d—e. Diseased intestine showing thinned intestinal wall (dashed arrow) and necrotic sloughed mucosal cells (solid arrow); f. Healthy intestine; g—h. Diseased gill with inflammatory cell infiltration (solid arrow); i. Healthy gill; j—k. Diseased muscle displaying disrupted architecture and blurred texture; l. Healthy muscle

16S rRNA和gyrB基因分析 8株分离菌扩增所得的16S rRNA基因序列长度介于1396—1410 bp, *gyrB*基因序列长度为1074—1146 bp。通过16S rRNA基因和*gyrB*基因的同源性分析,发现菌株GY241001、BLD241201、NTH241202与产气克雷伯氏菌(*Klebsiella aerogenes*)的序列相似性最高,其中16S rRNA基因序列的同源性达99.57%—99.93%, *gyrB*基因的同源性达99.44%—99.91%;菌株GY241002、GY241101、XN241202、NTH241201和NAG241201与葡萄牙柠檬酸杆菌(*Citrobacter portucalensis*)的序列相似性最高,其16S rRNA基因序列的同源性为99.57%—100.0%, *gyrB*基因的同源性为99.38%—99.83% (表 2)。基于16S rRNA基因和*gyrB*基因构建的NJ系统进化树的结果基本一致,菌株GY241001、BLD241201、NTH241202与产气克雷伯氏菌处于同一进化分支,而菌株GY241002、GY241101、XN24

1202和NAG241201与葡萄牙柠檬酸杆菌聚为一支;不同的是,菌株NTH241201在基于16S rRNA基因的系统发育树中归属葡萄牙柠檬酸杆菌分支,而在*gyrB*基因进化树中与弗氏柠檬酸杆菌(*C. freundii*)聚类(图 4)。

2.5 分离菌回感试验结果

通过人工感染试验评估分离菌株对罗氏沼虾的致病性,结果显示,8株分离菌株均对罗氏沼虾有致死性,在攻毒浓度为 1×10^8 CFU/mL条件下,所有菌株对罗氏沼虾的5d累计死亡率均超过90%,但 7.5×10^6 CFU/mL的攻毒浓度对罗氏沼虾无致死性。经计算,菌株XN241202和GY241001的 LD_{50} 最低,分别为 2.0×10^7 和 2.2×10^7 CFU/mL (表 3)。死亡罗氏沼虾均表现出肝胰腺轻微病变、体色略微发白等临床症状,但未能重现自然感染中肌肉白浊的典型症状。从死亡罗氏沼虾体内分离出优势菌株,其菌落形态特征与原感染菌株一致,进一步证实了分离菌株对罗氏沼虾的致病性。

2.6 药物敏感试验结果

测试了分离菌株XN241202和GY241001对23种抗菌药物的敏感性,基于CLSI标准进行药敏结果判定,结果显示:菌株XN241202和GY241001的均对头孢哌酮、恩诺沙星、左氧氟沙星、氟苯尼考、四环素5种药物高度敏感,对头孢唑林、哌拉西林、亚胺培南、头孢氨苄、氨苄西林、庆大霉素、链霉素、红霉素、万古霉素、复方新诺明10种抗生素表现出耐药性;此外,菌株XN241202对

表 1 WS罗氏沼虾肝胰腺组织液的人工感染试验结果

Tab. 1 Results of artificial challenge to healthy prawns using the hepatopancreas homogenate of *M. rosenbergii* with WS

组别Group	死亡数 Number of death					死亡率 Mortality (%)
	1d	2d	3d	4d	5d	
组织液(原液)Tissue homogenate	20	0	0	0	0	100
组织液(10倍稀释) Tissue homogenate (diluted 10 times)	9	4	3	3	1	100
组织滤液(原液) Tissue homogenate filtrate	0	0	0	0	0	0
组织滤液(10倍稀释) Tissue homogenate filtrate (diluted 10 times)	0	0	0	0	0	0

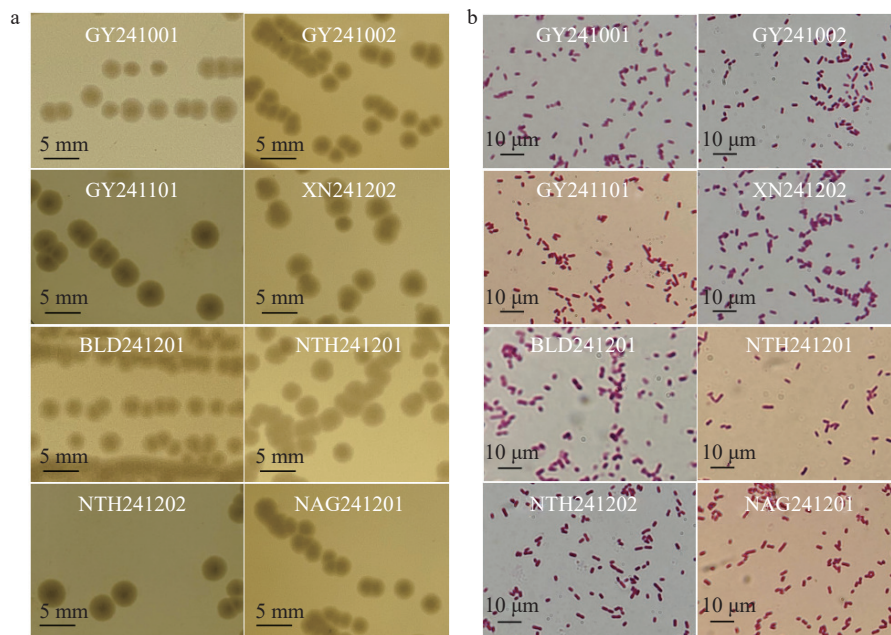


图 3 分离菌株的菌落形态(a)和革兰氏染色镜检结果(b)

Fig. 3 Colony (a) and gram staining microscopy (b) of the isolate strains

表 2 分离菌株的16S rRNA和gyrB基因鉴定结果

Tab. 2 Identification results of 16S rRNA and gyrB genes of isolated strains

菌株Strain	基因Gene	序列大小Sequence size (bp)	最大相似菌株Most similar strain	覆盖度Coverage (%)	相似度Identity (%)
GY241001	16S rRNA	1403	产气克雷伯氏菌 <i>K. aerogenes</i>	96.0	99.79
	gyrB	1127		100.0	99.47
GY241002	16S rRNA	1410	葡萄牙柠檬酸杆菌 <i>C. portucalensis</i>	96.3	99.57
	gyrB	1146		100.0	99.83
GY241101	16S rRNA	1407	葡萄牙柠檬酸杆菌 <i>C. portucalensis</i>	96.1	99.64
	gyrB	1123		100.0	99.55
XN241202	16S rRNA	1402	葡萄牙柠檬酸杆菌 <i>C. portucalensis</i>	95.8	99.93
	gyrB	1127		100.0	99.82
BLD241201	16S rRNA	1403	产气克雷伯氏菌 <i>K. aerogenes</i>	96.0	99.93
	gyrB	1074		100.0	99.44
NTH241201	16S rRNA	1405	葡萄牙柠檬酸杆菌 <i>C. portucalensis</i>	96.0	100.0
	gyrB	1137		99.0	99.38
NTH241202	16S rRNA	1396	产气克雷伯氏菌 <i>K. aerogenes</i>	95.6	99.36
	gyrB	1133		100.0	99.91
NAG241201	16S rRNA	1404	葡萄牙柠檬酸杆菌 <i>C. portucalensis</i>	96.0	99.72
	gyrB	1135		100.0	99.74

头孢曲松、头孢他啶、米诺环素、阿奇霉素高度敏感,对阿米卡星、卡那霉素、氯霉素中度敏感;而菌株GY241001对氯霉素高度敏感,对头孢曲松、米诺环素、环丙沙星、阿奇霉素中度敏感(表 4)。

2.7 植物源药物抑菌效果

评估了41种植物源药物对菌株XN241202和GY241001的抑菌活性,实验结果显示,百里酚、牛至油、白屈菜红碱、血根碱、叶下珠提取物、藿香提取物、风流果提取物7种药物对上述两个菌株均表现出显著的抗菌作用;桂皮醛、肉桂精油、齐墩果酸、天竺葵精油、钻地风提取物5种药物仅对菌株XN241202具有抑制效果;槲皮素、丁香酸、石榴皮提取物、老鹳草提取物、诃子提取物5种药物则对菌株GY241001显示出抑制活性(表 5)。此外,黄芩苷、甘草酸、肉桂酰胺、蛇床子素、芦荟大黄素、灿烂黄、绿原酸、没食子酸乙酯、茶多酚、没食子酸、单宁酸、姜黄素、柚皮素、桉叶油醇、厚朴酚、冰片、肉桂酸、大黄素、大蒜素、地榆提取物、山竹提取物、黄芪提取物、黄精提取物、黄连提取物24种药物对两株菌均无抑制活性。

2.8 药物保护率

根据体外抑菌实验结果,选取抑菌效果前3的

植物源药物百里酚、牛至油、白屈菜红碱及抗生素恩诺沙星、氟苯尼考,通过饲喂实验评估所测药物治疗WS罗氏沼虾的保护效果。实验结果表明,用药10d后恩诺沙星、氟苯尼考和牛至油治疗组的罗氏沼虾死亡率分别为29.2%、41.7%和58.3%,显著低于对照组(87.5%; $P<0.05$);而百里香酚和白屈菜红碱治疗组的死亡率与对照组差异无统计学意义($P>0.05$; 图 5)。经计算,恩诺沙星、氟苯尼考和牛至油的保护率分别为66.7%、52.4%和33.3%。

3 讨论

罗氏沼虾种质资源安全是支撑产业可持续发展的核心要素。近年来罗氏沼虾新发疫病WS在其主要育苗产区广泛流行,已对种业安全构成严峻挑战。本研究发现,WS罗氏沼虾个体呈现体色发白、肌肉混浊及肝胰腺萎缩等临床症状。超微病理学研究进一步揭示了肝胰腺、肠道和鳃等组织存在不同程度的结构损伤,其病理特征与文献报道的罗氏沼虾“白尾病”存在较高相似性^[2, 3, 14]。然而,二者在流行病学特征上呈现高度差异:“白尾病”主要感染幼虾发育阶段,而WS则特异性暴发于种虾群体。与“白尾病”由诺达病毒和极小病毒引发的病毒性病原机制不同,本研究发现WS无菌组织滤液对罗氏沼虾无致病性,而分离菌株人工感染引起罗氏沼虾死亡,这充分证实WS为细菌性疾病。此外,本研究发现罗氏沼虾雌虾WS发病率明显高于雄虾的现象。近期的一项基于转录组学的研究表明,罗氏沼虾雌虾WS高发可能与其过度繁殖导致的营养缺乏有关^[15]。雌虾的能量分配更侧重繁殖需求,而抱卵行为限制运动摄食,二者均可能削弱其抗病力。此外,雌虾的生长速度较雄虾慢,可能导致其先天性免疫力更低、抗病能力更差。

3.1 罗氏沼虾WS的潜在病原分析

研究从患病沼虾体内分离出8株形态特征一致的细菌,基于16S rRNA基因和gyrB基因分析确认为肠杆菌科的葡萄牙柠檬酸杆菌和产气克雷伯氏菌。回感试验表明,这些菌株对罗氏沼虾具有致病性,感染后可导致肝胰腺轻微病变及体色发白等症状,表明它们是罗氏沼虾WS的潜在病原体。柠檬酸杆菌属细菌广泛分布于水生环境中,其中弗氏柠檬酸杆菌作为罗氏沼虾的常见致病菌,能引发水泡病并具有高致死率^[16, 17]。而葡萄牙柠檬酸杆菌的报道较少,该菌首次于2017年在葡萄牙的水井样本中被发现^[18],随后在患病鳄蜥、大鲵中被分离到^[19, 20],但尚未有关于其对其他水生动物致病性的报道。产气克雷伯氏菌原名为产气肠杆菌(*Enterobactera*

aerogenes), 是罗氏沼虾幼体病的病原之一^[21, 22], 曾导致江浙地区多家育苗场幼体和仔虾大规模死

亡。本研究从WS罗氏沼虾中分离出葡萄牙柠檬酸杆菌和产气克雷伯氏菌, 但人工感染试验未能复现

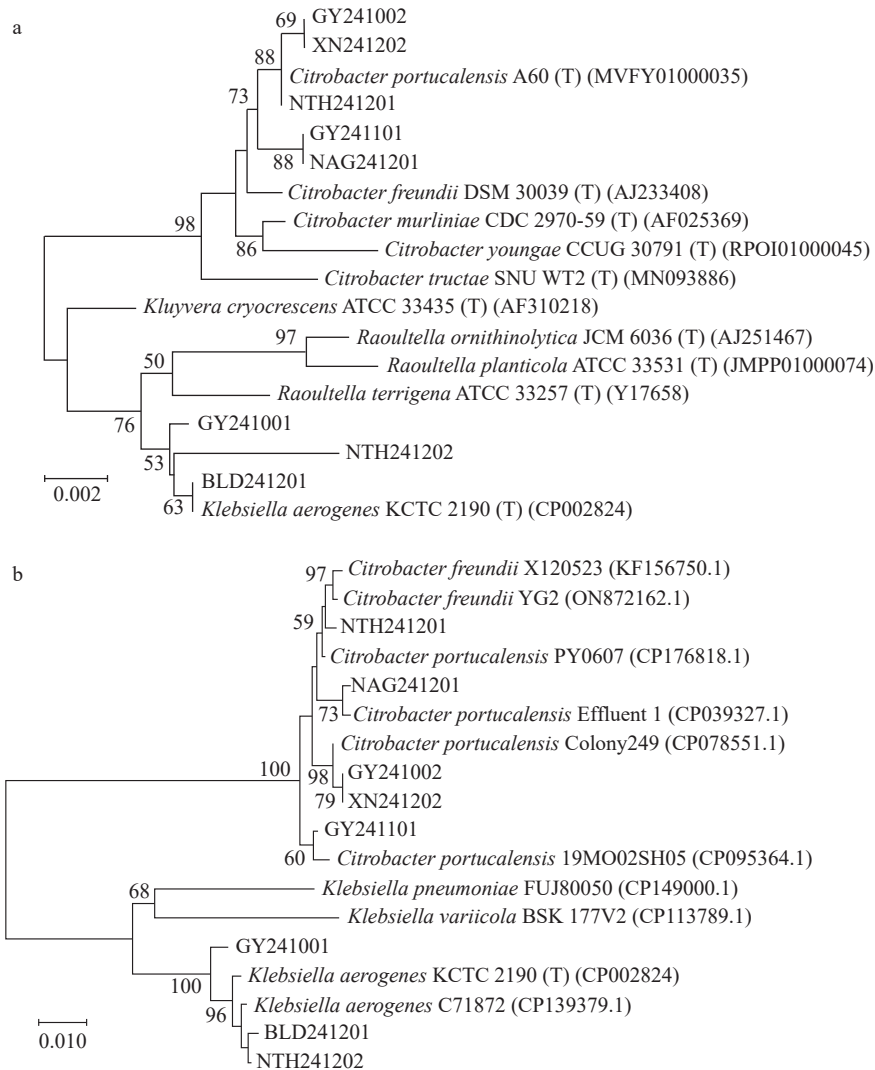


图4 分离菌株16S rRNA基因(a)及gyrB基因(b)的系统进化树

Fig. 4 Phylogenetic trees of 16S rRNA gene (a) and gyrB gene (b) of the isolated strains

以*Citrobacter portucalensis* A60 (T) (MVFY01000035)为例, “A60”为菌株名, “(T)”代表模式菌株, “MVFY01000035”为登录号
Taking *Citrobacter portucalensis* A60 (T) (MVFY01000035) as an example, “A60” is the strain name, “(T)” represents the type strain, and “MVFY01000035” is the accession number

表3 WS罗氏沼虾分离菌株的人工感染试验结果

Tab. 3 Results of artificial challenge to prawns using strains isolated from *M. rosenbergii* with WS

菌株Strain	5d累计死亡率5d cumulative mortality (%)						半致死浓度 LD ₅₀ (CFU/mL)
	1.0×10 ⁸ CFU/mL	7.5×10 ⁷ CFU/mL	5.0×10 ⁷ CFU/mL	2.5×10 ⁷ CFU/mL	1.0×10 ⁷ CFU/mL	7.5×10 ⁶ CFU/mL	
GY241001	100	95	70	55	30	0	2.2×10 ⁷
GY241002	90	65	25	0	0	0	6.2×10 ⁷
GY241101	90	75	45	0	0	0	5.5×10 ⁷
XN241202	100	100	75	55	35	0	2.0×10 ⁷
BLD241201	100	90	70	25	0	0	4.5×10 ⁷
NTH241201	100	85	75	15	10	0	3.6×10 ⁷
NTH241202	90	75	75	25	15	0	3.9×10 ⁷
NAG241201	100	85	45	5	0	0	5.6×10 ⁷

自然感染的肌肉白浊典型症状,这可能与细菌攻毒剂量过高、虾死亡过快有关,抑或该病由两种细菌共感染引起。此外,该病常在种虾被转移到温室环境后暴发,表明自然感染或需特定环境压力(如温度波动)触发条件致病菌毒力基因表达^[23],后续研究将设计实验以验证此推论。

3.2 罗氏沼虾WS的药物防控效果评价

在水产养殖实践中,抗菌药物的使用是控制细菌性疾病的常用策略,而病原菌的药敏特性分析对于疾病的精准防控具有关键意义。本研究的药敏实验结果显示,葡萄牙柠檬酸杆菌XN241202和产气克雷伯氏菌GY241001的药敏特征高度一致,均对恩诺沙星、左氧氟沙星、氟苯尼考、四环素、头孢哌酮、头孢曲松、氯霉素、米诺环素、阿奇霉素等抗生素具有不同程度的敏感性,这与鳄蜥源葡萄牙柠檬酸杆菌和罗氏沼虾源产气肠杆菌的药敏特性相似^[20, 22]。体内试验表明,拌饲料投喂恩诺沙星和氟苯尼考能显著降低罗氏沼虾WS死亡率,

证实其在WS治疗中的应用潜力。梁森汉等^[24]的研究也发现,结合投喂维生素C和抗生素可有效降低罗氏沼虾“白尾病”的发病率,这与本研究结果相似。鉴于氧氟沙星、氯霉素等为水产养殖禁用药或停用药,建议在养殖生产中使用恩诺沙星、氟苯尼考等已获批准的水产用兽药,并应在专业人员指导下科学合理地用药,以避免耐药菌株的产生。

植物源药物是抗生素的重要替代品,富含生物碱、苷类、有机酸等抗菌活性成分,已被用于治疗虾类弧菌、气单胞菌等细菌性感染^[9, 10]。本研究评估了中草药提取物及活性单体对葡萄牙柠檬酸杆菌XN241202和产气克雷伯氏菌GY241001的体外抑菌活性,发现牛至油、百里酚、白屈菜红碱和血根碱等十余种药物有效,并通过试验验证了牛至油对罗氏沼虾WS的治疗效果显著。牛至油是从牛至全草中提取得到的挥发性物质,含有丁香酚、香芹酚等多种抗菌活性成分,可通过破坏病原菌细胞膜的完整性及抑制群体感应系统,从而有效抑制弧

表 4 菌株XN241202和GY241001对23种抗生素的敏感性

Tab. 4 Sensitivity of strains XN241202 and GY241001 to 23 antibiotics

药物分类 Drug classification	药物名称 Drug name	药物含量 Drug content (μg/piece)	XN241202		GY241001	
			抑菌圈 Inhibition zone (mm)	敏感性 Sensitivity	抑菌圈 Inhibition zone (mm)	敏感性 Sensitivity
β-内酰胺类β-lactams	头孢哌酮Cefoperazone	75	30	S	24	S
	头孢曲松Ceftriaxone	30	28	S	22	I
	头孢他啶Cefotaxime	30	29	S	16	R
	头孢唑林Cefazolin	30	0	R	0	R
	哌拉西林Piperacillin	100	0	R	0	R
	亚胺培南Imipenem	10	0	R	0	R
	头孢氨苄Cephalexin	30	0	R	0	R
	氨苄西林Ampicillin	10	0	R	0	R
氨基糖苷类Aminoglycosides	阿米卡星Amikacin	30	17	I	14	R
	卡那霉素Kanamycin	30	16	I	14	R
	庆大霉素Gentamicin	10	14	R	13	R
	链霉素Streptomycin	10	11	R	11	R
四环素类Tetracyclines	氟苯尼考Florfenicol	30	18	S	20	S
	四环素Tetracycline	30	21	S	16	S
	米诺环素Minocycline	30	18	S	15	I
喹诺酮类Quinolones	恩诺沙星Enrofloxacin	10	24	S	30	S
	左氧氟沙星Levofloxacin	5	22	S	21	S
	环丙沙星Ciprofloxacin	5	21	R	22	I
大环内酯类Macrolides	阿奇霉素Azithromycin	15	19	S	13	I
	红霉素Erythromycin	15	0	R	0	R
酰胺醇类Chloramphenicol	氯霉素Chloramphenicol	30	17	I	21	S
糖肽类Glycopeptide	万古霉素Vancomycin	30	0	R	0	R
磺胺类Sulfonamide	复方新诺明Sulfamethoxazole	25	0	R	0	R

注:“S”表示高度敏感;“I”表示中度敏感;“R”表示耐药
Note: “S” indicates highly sensitive, “I” indicates moderately sensitive, and “R” indicates drug resistance

表 5 植物源药物对菌株XN241202和GY241001的抑菌活性

Tab. 5 Antibacterial activity of plant derived drugs against strains XN241202 and GY241001

药物Drug	抑菌圈Inhibition zone (mm)	
	XN241202	GY241001
百里酚Thymol	19	29
牛至油Oregano oil	19	25
白屈菜红碱Chelerythrine	16	19
血根碱Sanguinarine	16	17
叶下珠提取物 <i>Phyllanthus urinaria</i> extract	14	16
藿香提取物Agastache extract	13	15
风流果提取物 <i>Lithocarpus pachylepis</i> extract	13	14
桂皮醛Cinnamaldehyde	20	0
肉桂精油Cinnamon oil	18	0
齐墩果酸Oleanolic acid	13	0
天竺葵精油Geranium essential oil	13	0
钻地风提取物 <i>Schizophragma integrifolium</i> extract	12.5	0
槲皮素Quercetin	0	14
丁香酸Eugenic acid	0	13.5
石榴皮提取物Pomegranate rind extract	0	14
老鹳草提取物Geranium extract	0	14
诃子提取物Myrobalan extract	0	13

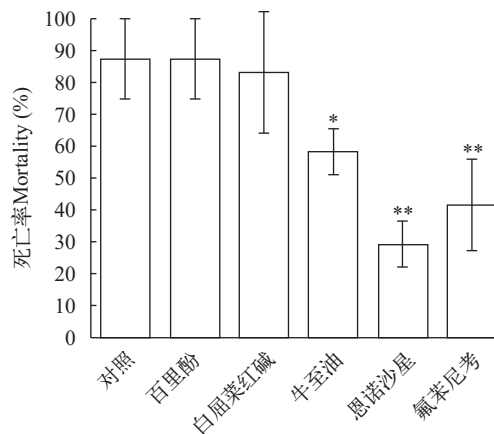


图 5 不同药物治疗后WS罗氏沼虾的死亡率

Fig. 5 Mortality of *M. rosenbergii* with WS under different drug treatments*表示 $P<0.05$; **表示 $P<0.01$ * indicates $P<0.05$; ** indicates $P<0.01$

菌、链球菌等多种水产致病菌^[25]。百里酚是芳香植物精油的主要成分,通过干扰细菌能量代谢等机制发挥抗维氏气单胞菌、副溶血弧菌的作用^[26,27]。白屈菜红碱和血根碱二类新兽药博落回散的主要活性成分,作为饲料添加剂可显著增强凡纳滨对虾在副溶血弧菌感染时的免疫清除能力^[6]。尽管百里酚与白屈菜红碱在体外表现出显著抑菌活性,但其

体内保护效果未达显著水平,可能与药物在消化道的稳定性、肠道吸收效率及代谢动力学特性有关。植物源单体易受胃肠道环境(如pH、消化酶)影响导致结构降解^[28],或因其亲脂性不足难以穿透生物屏障,致使靶组织有效浓度不足。此外,药物在胰腺腺中的快速代谢失活亦可能削弱其疗效。未来需通过药代动力学研究及纳米递送系统提升药效。

4 结论

本研究探究了罗氏沼虾新发疫病WS的病因及防治药物,推测其潜在病原为葡萄牙柠檬酸杆菌与产气克雷伯氏菌,筛选出恩诺沙星、氟苯尼考及植物源药物牛至油等有效防治药物。未来研究需进一步深入分析WS的致病机制,并加快植物源药物的研发进程,以确保罗氏沼虾种业安全。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

- [1] Fisheries and Fisheries Law Enforcement Administration of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China Fishery Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2024: 24. [农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会.中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2024:24.]
- [2] Qian D, Yang G L, Liu W, et al. Preliminary studies on the whitish muscle diseases of *Macrobrachium rosenbergii* post-larvae [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(5): 472-476. [钱冬,杨国梁,刘问,等.罗氏沼虾苗肌肉白浊病病原的初步研究[J].水生生物学报,2002,26(5):472-476.]
- [3] Saedi T A, Moeini H, Tan W S, et al. Detection and phylogenetic profiling of nodavirus associated with white tail disease in Malaysian *Macrobrachium rosenbergii* de Man [J]. *Molecular Biology Reports*, 2012, 39(5): 5785-5790.
- [4] Chen K F, Maran S, Tan W S, et al. Meta-analysis of studies on protection provided by different prophylactic agents, their routes of administration and incubation times against nodavirus infection in *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Aquaculture*, 2023(565): 739125.
- [5] He W Q, Rahimnejad S, Wang L, et al. Effects of organic acids and essential oils blend on growth, gut microbiota, immune response and disease resistance of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) against *Vibrio parahaemolyticus* [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2017(70): 164-173.
- [6] Bussabong P, Rairat T, Chuchird N, et al. Effects of

- isoquinoline alkaloids from *Macleaya cordata* on growth performance, survival, immune response, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* infection of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. *PLoS One*, 2021, **16**(5): e0251343.
- [7] Zhang X, Hu L H, Song D W, *et al.* Evaluation on prevention and treatment of cuminaldehyde in culture of shrimp against white spot syndrome virus [J]. *Aquaculture*, 2023(562): 738760.
- [8] Ameer A, V D D D, Gopakumar L, *et al.* Detection of antiviral moieties in the leaves of *Rhizophora mucronata* functional on the shrimp pathogen *Penaeus stylirostris* penstyldensovirus 1 (*PstDVI*)/IHHNV as the prospective drugs of choice in aquaculture [J]. *Aquaculture International*, 2024, **32**(7): 8791-8808.
- [9] Quiroz-Guzmán E, Morreeuw Z P, Peña-Rodríguez A, *et al.* Flavonoid-enriched extract of *Agave lechuguilla* bagasse as a feed supplement to prevent vibriosis in Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* [J]. *Aquaculture*, 2023(562): 738867.
- [10] Harikrishnan R, Balasundaram C, Jawahar S, *et al.* Immunomodulatory effect of *Withania somnifera* supplementation diet in the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) against *Aeromonas hydrophila* [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2012, **32**(1): 94-100.
- [11] Guma S, Jiang Z, Zhang Y, *et al.* The pathogenic characterization of *Citrobacter freundii* and its activation on immune related genes in *Macrobrachium nipponense* [J]. *Microbial Pathogenesis*, 2022(169): 105682.
- [12] An S L, Mo Y X, Ou C Q. Probit analysis with SPSS 10.0 software [J]. *Journal of First Military Medical University*, 2002, **22**(11): 1019-1021. [安胜利, 莫一心, 欧春泉. 在 SPSS 10.0 软件上进行概率单位分析 [J]. 第一军医大学学报, 2002, **22**(11): 1019-1021.]
- [13] Li Q Y, Huang X H, Hao G J, *et al.* Construction of efficacy model against largemouth bass virus and screening of antiviral Chinese medicine [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2022, **53**(6): 1513-1522. [李秋语, 黄小红, 郝贵杰, 等. 抗大口黑鲈蛙虹彩病毒药效模型的构建及其抗病毒中药筛选 [J]. 海洋与湖沼, 2022, **53**(6): 1513-1522.]
- [14] Yoganandhan K, Leartvibhas M, Sriwongpuk S, *et al.* White tail disease of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* in Thailand [J]. *Diseases of Aquatic Organisms*, 2006, **69**(2-3): 255-258.
- [15] Wang F, Liu J, Jiang J, *et al.* Molecular insights into the mechanism of white syndrome in *Macrobrachium rosenbergii* through transcriptome analysis [J]. *Aquaculture*, 2025(607): 742605.
- [16] Zhao C, Wen H, Huang S, *et al.* A novel disease (water bubble disease) of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* caused by *Citrobacter freundii*: antibiotic treatment and effects on the antioxidant enzyme activity and immune responses [J]. *Antioxidants*, 2022, **11**(8): 1491.
- [17] Chen A, Qian Q, Cai X, *et al.* Pathogenicity of *Citrobacter freundii* causing mass mortalities of *Macrobrachium rosenbergii* and its induced host immune response [J]. *Microorganisms*, 2024, **12**(10): 2079.
- [18] Ribeiro T G, Gonçalves B R, da Silva M S, *et al.* *Citrobacter portucalensis* sp. nov., isolated from an aquatic sample [J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2017, **67**(9): 3513-3517.
- [19] Yang X W, Liu Y C, Li B C, *et al.* Whole genome determination and analysis of virulence gene and drug resistance gene of a strain of *Citrobacter portucalensis* isolated from the Chinese giant salamander [J]. *Chinese Journal of Veterinary Medicine*, 2023, **43**(2): 291-296, 302. [杨晓伟, 刘于畅, 李毕成, 等. 1株大鲵源葡萄牙柠檬酸杆菌的全基因组测定及毒力基因和耐药基因的分析 [J]. 中国兽医学报, 2023, **43**(2): 291-296, 302.]
- [20] Lü M, Guo Y D, Chen Y H, *et al.* Identification and drug sensitivity analysis of *Citrobacter portucalensis* and *Morganella morganii* isolated from *Shinisaurus crocodilurus* [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2023, **44**(2): 383-392. [吕美, 郭怡德, 陈耀还, 等. 鳄蜥源葡萄牙柠檬酸杆菌和摩氏摩根菌的分离鉴定及药敏分析 [J]. 野生动物学报, 2023, **44**(2): 383-392.]
- [21] Chen X F, Yang G L, Gao Q, *et al.* Development and application of the PCR detection method of pathogenic *Enterobacter* spp. in the larvae of the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2015, **36**(4): 99-104. [陈雪峰, 杨国梁, 高强, 等. 罗氏沼虾幼体病原肠杆菌PCR检测技术的建立与应用 [J]. 渔业科学进展, 2015, **36**(4): 99-104.]
- [22] Tong S Q, Gao X J, Zhang S M, *et al.* Identification and antibiotic sensitivity detection of pathogenic *Enterobacter aerogenes* isolated from *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2019, **51**(2): 83-88. [童帅旗, 高晓建, 张双明, 等. 罗氏沼虾源产气肠杆菌分离鉴定及耐药性分析 [J]. 畜牧与兽医, 2019, **51**(2): 83-88.]
- [23] Guijarro J A, Cascales D, García-Torrico A I, *et al.* Temperature-dependent expression of virulence genes in fish-pathogenic bacteria [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2015(6): 700.
- [24] Liang S H, Zheng Z, Deng G C, *et al.* Research on the prevention and control of muscle opacity disease in *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2001, **31**(5): 34-36. [梁森汉, 郑重, 邓国成, 等. 罗氏沼虾肌肉白浊病的防治研究 [J]. 淡水渔业, 2001, **31**(5): 34-36.]
- [25] Xu Q X, Ke Y X, Chen Y Q, *et al.* Research progress on antibacterial activity and mechanism of oregano essential oil against common pathogenic bacteria [J]. *Feed*

- Research*, 2022, **45**(3): 149-153. [许巧欣, 柯怡欣, 陈咏琪, 等. 牛至精油对常见致病菌的抗菌活性及作用机制研究进展 [J]. 饲料研究, 2022, **45**(3): 149-153.]
- [26] Wu Y R, Liang T Y, Liang C, *et al.* Antibacterial effect of thymol against fish-derived drug-resistant *Aeromonas veronii* in vitro and its mechanism [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2022, **34**(7): 1412-1422. [吴玉如, 梁天雨, 梁超, 等. 百里香酚对鱼源耐药性维氏气单胞菌的体外抑菌效果及其机制研究 [J]. 浙江农业学报, 2022, **34**(7): 1412-1422.]
- [27] Hoa T T T, Fagnon M S, Thy D T M, *et al.* Growth performance and disease resistance against *Vibrio parahaemolyticus* of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed essential oil blend (Phyto AquaBiotic) [J]. *Animals*, 2023, **13**(21): 3320.
- [28] Xing H Y, Huang L, Ding B, *et al.* Effects of in vitro digestion on antioxidant activity and bioavailability of plant polyphenols with different polarities [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, **46**(16): 70-77. [邢慧颖, 黄莉, 丁波, 等. 体外消化对不同极性植物多酚的抗氧化能力及生物利用度的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2020, **46**(16): 70-77.]

ISOLATION AND IDENTIFICATION OF POTENTIAL PATHOGEN OF AN EMERGING DISEASE WHITE SYNDROME IN *MACROBRACHIUM ROSENBERGII*

HUANG Lei¹, CHU Kuan¹, CAI Xue¹, CHEN Jing¹, PENG Xian-Qi¹, BU Xia-Lian¹, NIU Chen¹, ZHANG Hai-Qi¹, SUN Wei-Jie² and YAO Jia-Yun¹

(1. Key Laboratory of Healthy Freshwater Aquaculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Fish Health and Nutrition of Zhejiang Province, Key Laboratory of Fishery Environment and Aquatic Product Quality and Safety of Huzhou City, Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, China; 2. Tongxiang Agricultural Science Research Institute of Jiaxing Agricultural Sciences Research Institute, Jiaxing 314500, China)

Abstract: To investigate the etiology and prevention strategies for the emerging disease “white body disease” (provisionally named) in *Macrobrachium rosenbergii*, epidemiological studies were conducted to identify the typical symptoms and potential pathogens of the disease, followed by developing therapeutic approaches. The results showed that the disease mainly prevailed in *M. rosenbergii* broodstock farms. Clinical symptoms in affected prawns encompass abdominal muscles opacity and hepatopancreas atrophy, with histopathological characteristics include muscle tissue rupture, necrosis and sloughing of hepatopancreatic epithelial and intestinal mucosal layer cells, coupled with an augmented presence of inflammatory cells in the gills. Challenge experiments using hepatopancreas tissue fluid from diseased prawn confirmed the presence of pathogenic bacteria. Eight dominant strains isolated from infected hepatopancreas were provisionally identified as *Citrobacter portucalensis* and *Klebsiella aerogenes*. Artificial infection experiments indicated that all isolated strains were pathogenic to *M. rosenbergii*, with *C. portucalensis* XN241202 and *K. aerogenes* GY241001 exhibiting the highest pathogenicity. Based on these findings, the disease was tentatively named White Syndrome (WS). In vitro antibacterial tests showed that antibiotics such as cefoperazone, enrofloxacin, levofloxacin, and florfenicol, along with plant-derived drugs including thymol, oregano oil, chelerythrine, and *Agastache rugosa* extracts, exerted significant inhibitory effects on strains XN241202 and GY241001. In vivo experiments showed that dietary supplementation with 1 mg/kg of enrofloxacin, florfenicol, or oregano oil significantly reduced the mortality rate of WS prawns ($P < 0.05$). These findings provide an important scientific basis for the effective control of WS and are critical for safeguarding *M. rosenbergii* breeding security.

Key words: White Syndrome; *Citrobacter portucalensis*; *Klebsiella aerogenes*; Chinese herbal medicine; *Macrobrachium rosenbergii*