

· 综 述 ·

红螯螯虾的病害及其防治技术

谢仰杰^{1,2}, 党一钊^{1,2}, 翁朝红^{1,2}, 李港杰^{1,2}

(1. 集美大学水产学院, 福建 厦门 361021; 2. 福建省水产生物育种与健康养殖工程研究中心, 福建 厦门 361021)

[摘要] 红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)自20世纪90年代引进中国,已在中国多个省份养殖成功,成为中国的新兴淡水养殖种类,近年发展迅速。随着养殖规模的扩大和养殖密度的不断提高,病害问题逐渐显现。红螯螯虾的疾病主要由病原引起,营养缺乏和水质不良也会引起疾病。已报道的红螯螯虾的病原生物包括病毒、细菌、真菌、立克次氏体、原生动物和后生动物等。红螯螯虾对许多病原敏感,但尚未发现广泛传播的流行性疾病。对红螯螯虾病害的种类、危害和防治方法进行了较系统的介绍,可为红螯螯虾的养殖提供参考。

[关键词] 红螯螯虾;病害;防治

[中图分类号] S 966.12

Diseases and Control Methods of Redclaw Crayfish, *Cherax quadricarinatus*

XIE Yangjie^{1,2}, DANG Yizhao^{1,2}, WENG Zhaohong^{1,2}, LI Gangjie^{1,2}

(1. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Fujian Engineering Research Center of Aquatic Breeding and Healthy Aquaculture, Xiamen 361021, China)

Abstract: Redclaw crayfish(*Cherax quadricarinatus*) has been successfully cultured in many provinces in China since 1990s, and has become a new important freshwater aquaculture species since its culture being expanded quickly in recent years. With the expansion of culture scale and the increase of culture density, the diseases gradually appear. The diseases of redclaw crayfish are mainly caused by infectious pathogens, as well as nutritional deficiencies and poor water quality. The pathogens of redclaw crayfish include viruses, bacteria, fungi, rickettsia, protozoa and metazoans. Redclaw crayfish are susceptible to many pathogens, but none have been linked to widespread epizootics. In this review, the main pathogenic organisms, their harmness and control methods of redclaw crayfish diseases were systematically introduced, in order to provide references for the culture of redclaw crayfish.

Keywords: redclaw crayfish(*Cherax quadricarinatus*); diseases; control

0 引言

红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)又称四脊光壳拟螯虾,俗称澳洲淡水龙虾,属甲壳纲(Crustacea)十足目(Decapoda)爬行亚目(Reptantia)拟螯虾科(Parastacidae),原产于澳大利亚和巴布

[收稿日期] 2021-03-01

[基金项目] 福建省科技计划项目(2019N0013);福建省水产生物育种与健康养殖工程研究中心开放基金项目(DF201910)

[作者简介] 谢仰杰(1967—),男,教授,主要从事水产动物增殖养殖方向研究。E-mail:yixie@jmu.edu.cn

<http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb>

亚新几内亚的淡水中^[1]。该螯虾最大个体可达 500 g 以上, 生长速度快, 在适宜条件下养殖 5 个月即可达到商品规格 (50 ~ 100 g); 具有不掘洞, 耐低氧, 对水体的硬度、碱度和酸碱度的适应范围广, 食性杂, 食物来源广等优点; 是食用价值与观赏价值兼备的优良养殖种类^[1-3]。中国自 1992 年引进该虾进行养殖, 已在海南、广东、福建、江苏、安徽、湖南、湖北等地养殖成功并形成一定的规模, 尤其近几年, 养殖规模快速扩大, 成为业界瞩目的新兴淡水养殖种类^[4-5]。

病害是影响水产养殖可持续发展的重要因素之一, 病害可引起养殖动物的大量死亡并造成重大经济损失。疾病主要由病原生物 (如病毒、细菌、真菌、原生动物) 的侵染所引起, 而营养缺乏和水质不良也会引起疾病。随着红螯螯虾养殖规模的不断扩大和养殖密度的不断提高, 病害问题也随之而来^[6-10]。迄今为止, 在红螯螯虾中已发现了病毒性疾病、细菌性疾病、真菌性疾病、立克次氏体病和寄生虫病等^[3,6-11]。Longshaw^[11] 和 Saoud 等^[3] 对红螯螯虾的病原生物进行了较全面的综述, 但对疾病防治技术介绍甚少; 国内也有若干红螯螯虾疾病及其防治的文献^[6-10,12], 但大多不够全面和深入, 而且其中也涉及一些违禁渔药的使用问题。为了让养殖业者能够较全面了解红螯螯虾可能发生的病害, 做好病害防治工作, 助推红螯螯虾养殖业的可持续发展, 本文对红螯螯虾病害的种类、危害和防治方法进行总结。

1 病毒性疾病

病毒性疾病是水产动物的常见疾病, 国内外已有关于红螯螯虾感染病毒导致大量死亡的报道。已报道引起红螯螯虾大量死亡的病毒有白斑综合症病毒 (white spot syndrome virus, WSSV)、红螯螯虾杆状病毒 (*Cherax quadricarinatus* bacilliform virus, CqBV)、螯虾贾第虫样病毒 (*Cherax* Giardiavirus-like virus, CGV)、细小病毒 (parvoviruses)、肝胰腺呼吸孤病毒 (hepatopancreatic reovirus) 等。以下分别对几种危害较大的病毒的特征和危害情况进行介绍。

1.1 白斑综合症病毒 (WSSV)

WSSV 致病性强, 感染范围广, 可感染多种虾蟹类, 受感染的个体死亡率高, 其可谓是对全球养虾业危害性最大的病毒之一。WSSV 属线头病毒科 (Nimaviridae), 为双链环状 DNA 病毒, 病毒粒子呈椭圆形, 无包涵体, 具囊膜, 囊膜大小为 (250 ~ 430) nm × (80 ~ 120) nm, 病毒核衣壳呈杆状, 一端为较扁的梯形, 另一端为三角锥形 (此端延伸出一条长尾)^[11,13]。红螯螯虾感染 WSSV 后, 体表无明显症状, 头胸甲、腹部甲壳及附肢也无明显白色斑点, 游动迟缓, 活力弱, 厌食, 空胃, 脱壳受阻, 体重 30 ~ 40 g 的成虾的死亡率达 80%^[9,14-15]。WSSV 除了能感染大多数对虾、螯虾种类外, 还能感染端足类、介形类、蟹类、龙虾类、桡足类、水蝇类等甲壳纲动物。传播途径除了虾苗自身携带病毒外, 还可通过水源、生物饵料、鸟类等传播。WSSV 可感染螯虾的大部分器官, 侵害表皮角质层组织、皮下组织、结缔组织、肌肉组织、造血组织等, 导致全身性系统性坏死。可采用 PCR 技术进行检测。

1.2 红螯螯虾杆状病毒 (CqBV)

CqBV 是在淡水甲壳类中最早发现的杆状病毒, 在澳洲和北美洲均有发现^[16-18]。该病毒属杆状病毒科 (Baculoviridae), 为双链 DNA 病毒, 由核衣壳和周围松散的三层包膜组成。核衣壳为杆状或柱状, 一端呈现尾状结构, 可产生无定形、嗜酸性的核内包涵体^[18]。病毒粒子长度为 172 ~ 220 nm, 核衣壳平均大小为 34 nm × 154 nm。可感染肝胰腺细胞, 以及前盲肠、中肠和中肠近端盲肠的上皮细胞^[16]。传播途径为经口传播^[12], 可感染所有自由摄食阶段的螯虾。病虾无明显症状, 不引起明显死亡^[16]。

此外, Groff 等^[17] 发现一种非包涵体杆状病毒, 病毒粒子呈杯柄状, 含一个被单个包膜包围的螺旋核衣壳, 包膜病毒粒子的长度为 (292 ± 15) nm, 直径为 (102 ± 7) nm, 推断其属于非包涵体杆状病毒的 Nudibaculo Virridae 亚家族。受感染的个体无明显体表症状, 但组织学观察可见肝胰腺小管上皮细胞含病毒包涵体。

1.3 螯虾贾第虫样病毒 (CGV)

CGV 属整体病毒科 (Totiviridae), 是双链 RNA 病毒, 病毒颗粒无包膜, 大小为 25 nm^[19]。CGV

易感染仔虾, 感染后的仔螯虾呈现慢性死亡, 死亡率较高; 亦可感染成虾, 但对成虾影响不明显^[20]。组织学观察发现, 感染仅见于肝胰脏细胞, 易感染吸收细胞、纤维细胞和泡状细胞, 表现为细胞核轻度肥大, 这与双链 RNA 聚集在细胞核中有关^[19,21]。传播途径为经口传播^[12], 可感染所有自由摄食阶段的螯虾^[16]。

1.4 细小病毒

细小病毒属细小病毒科 (Parvoviridae), 是单链 DNA 病毒。在红螯螯虾中已发现几种细小病毒和可能的细小病毒。细小病毒为含包涵体的六边形细小颗粒, 大小为 18 ~ 25 nm, 平均 19.5 nm。感染细小病毒的螯虾厌食、游动迟缓、活力弱, 常躲于角落, 甲壳柔软且有时呈现浅橙色或橙色斑点, 死亡率较高。解剖显示鳃上方甲壳内和外表皮间有水肿, 呈粉红色至紫色, 或有明显白色斑点。组织学上可观察到多处器官组织感染, 鳃、表皮上皮、前肠、中肠和后肠上皮及结缔组织感染最严重^[22]。Edgerton 等^[23]对病虾进行苏木素-伊红及甲苯胺蓝染色, 发现鳃上皮细胞被感染, 细胞核明显肿大, 染色质边缘化, 核内中空或包含嗜碱性颗粒。在电镜下观察到核内有直径约 20 nm 的病毒粒子, 通过组织病理学和病毒形态观察, 推定为鳃细小病毒, 病毒粒子呈二十面体。该感染导致的死亡率和发病率比较有限^[10,23]。Bowater 等^[22]报道一种红螯螯虾细小病毒引起澳大利亚昆士兰北部养殖的红螯螯虾大量死亡。此外, Owens 等^[24]从红螯螯虾的大量死亡中发现了红螯螯虾产卵死亡综合症细小病毒 (spawner-isolated mortality virus, SMV), 螯虾虽没有表现出明显的临床症状, 但利用地高辛标记的 SMV 探针在多个器官细胞核中检测到阳性信号。

1.5 肝胰腺呼肠孤病毒

呼肠孤病毒属呼肠病毒科 (Reoviridae), 是一种双链 RNA 病毒。Edgerton 等^[23]发现红螯螯虾病虾中含有类似肝胰腺呼肠孤病毒, 多个肝胰腺细胞的细胞质中存在包涵体, 而细胞核无明显变化; 电镜观察到包涵体中含有直径约为 35 ~ 40 nm 的尚未包装完全的球状病毒粒子, 形状规则, 呈六边形和五角形。但是, Hayakijkosol 等^[25]提取纯化的肝胰腺呼肠孤病毒颗粒呈二十面体状, 直径为 55 nm, 表面未见明显的棘状结构; 并且, 对幼虾进行感染实验显示, 病虾表现为活力和反应差, 食欲降低, 附肢和口器变红。

1.6 其他病毒

Sakuna 等^[26]发现甲壳类第一种 Ifla 病毒 (传染性软化病毒科 Iflaviridae), 命名为 Chequa Iflavirus, 组织病理学显示感染该病毒的螯虾肌肉横纹肌脆弱易碎、肌肉条纹消失、色素沉着, 并有局灶性血细胞浸润, 该病毒可感染幼虾和成虾, 并引起螯虾细菌性感染死亡, 死亡率较高。另外, Xu 等^[27]发现了一种新的虹彩病毒, 命名为红螯螯虾虹彩病毒 (*Cherax quadricarinatus* iridovirus, CqIV), 属虹彩病毒科 (Iridoviridae), 病毒颗粒为二十面体, 直径约 150 nm, 病毒颗粒大量存在于病虾的鳃和造血组织中。

红螯螯虾也会成为一些病毒的携带者和传播者。黄头病毒 (yellow head virus, YHV) 可感染红螯螯虾幼虾, 幼虾自身不表现出任何黄头病症状, 当和其他养殖品种混养时可传播给其他物种的幼虾^[28]。红螯螯虾也是墨吉对虾浓核病毒 (*Penaeus merguensis* densovirus, *Pmerg* DNV) (细小病毒科 Parvoviridae) 的携带者, 且 *Pmerg* DNV 会抑制螯虾的免疫能力, 使螯虾感染其他病原体而死亡^[29]。Hayakijkosol 等^[30]用罗氏沼虾诺达病毒 (*Macrobrachium rosenbergii* nodavirus, MRNV) (诺达病毒科 Nodaviridae) 感染红螯螯虾, 螯虾表现为肌肉坏死和肌肉变性, 并伴有血细胞浸润, 表明 MRNV 可以感染红螯螯虾幼虾, 但难以在幼虾中复制, 是有限携带者。

1.7 病毒性疾病的防治方法

对于病毒性疾病的防控, 相关研究有限, 且缺乏治疗病毒性疾病的有效方法。其防治主要以预防为主: 一是加强对种虾的检测, 防止亲虾带毒, 从源头防止病毒传播; 二是保证螯虾营养, 可以在饲料中添加维生素^[31]、壳寡糖^[32]或复方中草药制剂^[33]等, 增强免疫和抗病能力; 三是加

强水质管理, 确保水质优良, 并适当使用消毒剂, 如二氧化氯或聚维酮碘等; 四是进行抗病育种, 培育抗病新品种。

2 细菌性疾病

螯虾的细菌感染很常见。在水质不良的情况下, 螯虾的细菌感染可能会导致养殖和野生个体的死亡。已报道的引起红螯螯虾细菌性疾病的主要病原有弗氏柠檬酸杆菌 (*Citrobacter freundii*)、拟态弧菌 (*Vibrio mimicus*)、气单胞菌 (*Aeromonas*) 等。

2.1 弗氏柠檬酸杆菌

弗氏柠檬酸杆菌隶属肠杆菌科 (Enterobacteriaceae) 柠檬酸杆菌属 (*Citrobacter*), 为革兰氏阴性菌, 需氧或兼性厌氧, 是条件致病菌, 广泛分布于自然界中, 是人和动物 (哺乳类、鸟类、爬行类和两栖类) 肠道内正常的菌群^[9], 可导致红螯螯虾患病死亡。感染弗氏柠檬酸杆菌的红螯螯虾, 尾部似肉质样肿胀, 长时间形成疤痕; 或表现烂尾现象; 或没有明显症状。剥离其头胸甲, 可观察到肝胰腺呈淡黄色到棕黄色。

防治方法: 据报道^[34], 养殖池中泼洒三氯异氰尿酸 0.3 g/m^3 , 1 周后死亡情况可得到控制。

2.2 拟态弧菌

拟态弧菌属弧菌科 (Vibrionaceae), 能引起红螯螯虾比较严重的病理反应。感染实验表明, 拟态弧菌能导致红螯螯虾昏睡, 反应迟钝, 附肢不停抖动, 鳃和心脏及触角腺体发生不同程度的炎症, 短时间内大量死亡^[35]。受伤、不洁饵料和同类相残容易引起该病菌传播^[9, 35-36]。

防治方法: 改善养殖环境对预防本病的发生有一定的作用^[9]。

2.3 气单胞菌

气单胞菌属弧菌科 (Vibrionaceae), 可引起多种疾病, 如眼坏死病、肠炎病、出血病、水肿病等。眼坏死病主要发生在气温比较高的季节, 症状为螯虾的一只或两只眼睛被气单胞菌完全侵蚀, 致死率高^[12]。出血病的症状是体表布满大小不一的出血斑点, 特别是附肢和腹部较为明显, 肛门红肿, 不久就会死亡^[8]。嗜水气单胞菌主要危害仔虾, 尤其是 II 期仔虾, 组织学检查可发现肝胰腺内的细菌^[37]。

防治方法: 除了补充红螯螯虾所需营养, 增强自身免疫力外, 每次进行养殖前, 需进行彻底的清淤、翻塘、曝晒、消毒, 消灭产气单胞菌; 并且, 培养水体中的微生物有益菌群, 也能抑制产气单胞菌生长, 达到防治出血病的效果^[8]。大黄、黄连、大蒜素等中草药可能对嗜水气单胞菌有一定的疗效^[38]。

3 真菌性疾病

一些真菌对红螯螯虾造成较大危害。已报道感染红螯螯虾的真菌主要有水霉 (*Saprolegnia* spp.)、龙虾瘟疫真菌 (*Aphanomyces astaci*)、微孢子虫 (*Microsporidia*) 和胶孢子虫 (*Psorospermium*)。

3.1 水霉

水霉属水霉科 (Saprolegniaceae) 水霉属 (*Saprolegnia*)。在水质不良或螯虾受伤时, 螯虾很容易被水霉感染^[39]。感染水霉的螯虾活动减弱, 觅食减少, 病发部位着生细长菌丝^[40], 严重时螯虾外壳的角质层黑化^[41]。红螯螯虾的卵和垂死的幼虾易受水霉感染, 而健康的幼虾相对不易被感染。Diéguez-Uribeondo 等^[42]将体表完好、健康的红螯螯虾暴露在水霉的游动孢子中, 感染后死亡率为 20%; 而体表受伤的虾暴露在其中, 死亡率可达 60%, 死亡更快。有研究^[43]表明, 在 $25 \sim 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 第 II 期的仔虾从受到水霉菌丝感染到死亡只需要 48 h。

防治方法: 水霉病在养殖各个阶段都可能发生。一般以水质管理和预防双管齐下进行防治, 在季节更替时需要提前预防。有研究^[44]表明 20 mg/L 复方甲霜灵粉可有效抑制水霉病。

3.2 龙虾瘟疫真菌

龙虾瘟疫真菌属水霉科 (Saprolegniaceae) 丝囊霉属 (*Aphanomyces*), 是亚洲地区对红螯螯虾危

害较大的真菌, 致死率可达 100%, 也是引起欧洲淡水螯虾群体大量死亡的主要病原^[11]。螯虾在感染 1~2 周后引起死亡。病虾表现为白天离开藏身地, 分布于池底, 呆滞, 活力和协调性差, 容易翻倒。濒死个体运动机能丧失, 多腹部朝上死亡, 腹部和步足的关节以及甲壳、腹部与靠近关节连接处的表皮变棕色, 严重时会造成感染区域变白。检查病虾组织可见真菌菌丝, 在第一至第二节的腹部表皮和尾扇中表现为典型的无隔菌丝^[9,45]。

防治方法: 对于龙虾瘟疫真菌病, 目前没有好的治疗方法。有研究^[46]表明, 适当提高水体温度有助于抑制病原传播, 当水温从 20℃ 升至 26℃ 时, 死亡率降低 30%。

3.3 微孢子虫

据报道^[43], 有一种微孢子虫 (*Thelohania* sp., 泰洛哈虫科 *Thelohaniidae*) 可感染红螯螯虾, 感染率为 7.8%, 仅寄生于横纹肌和心肌。被感染的螯虾通常表现为不透明或发白, 行动迟缓, 甩尾逃逸反应较弱, 这种慢性感染最终会导致宿主死亡。虫体大小为 $3.5\ \mu\text{m} \times 2\ \mu\text{m}$ ^[47]。Edgerton 等^[48]报道从感染 CqBV 的红螯螯虾中发现另外一种微孢子虫, 在结缔组织中观察到微孢子虫孢子, 通常位于肝胰腺附近, 切片中的孢子大小约为 $4\ \mu\text{m} \times 2.5\ \mu\text{m}$ 。

防治方法: 对于微孢子虫病, 尚缺乏特效药治疗, 可以通过生石灰清塘、加强水质管理、加强营养、拌料投喂维生素 C 和免疫多糖等来预防^[49]。

3.4 胶孢子虫

胶孢子虫属中粘菌门 (*Mesomycetozoea*) 鱼胞霉菌目 (*Ichthyophonida*), 菌体大小为 $(120 \sim 200)\ \mu\text{m} \times (35 \sim 70)\ \mu\text{m}$, 已在欧洲和美国发现多种形态类型。广泛感染螯虾科 (*Astacidae*)、蛄蛄科 (*Cambaridae*) 和拟螯虾科 (*Parastacidae*) 等种类。在特定条件下致病, 能侵染红螯螯虾的鳃、肝胰腺、触角腺、结缔组织和神经组织, 有时感染卵巢膜、心肌和骨骼肌, 无明显病理学症状, 危害性不详^[11,43]。

4 立克次氏体病

立克次氏体 (*Rickettsia*) 是一类介于细菌与病毒之间又接近于细菌的一类原核生物, 一般呈球状或杆状, 只在宿主细胞内繁殖。Tan 等^[50]发现螯虾立克次氏体 (*Coxiella cheraxi*) 在螯虾体内全身分布。Romero 等^[51-52]的研究表明, 立克次氏体通过饲料和养殖水体进行传播, 且感染立克次氏体的红螯螯虾死亡率较高, 可达 45%~80%; 初期感染时, 被感染个体与正常个体的外观没有太大差异, 但有的感染个体较小; 组织学检查发现, 在虾的肝胰腺细胞、结缔组织和表皮上皮细胞内都存在立克次氏体, 立克次氏体可以在细胞质内增殖而不感染细胞核。被立克次氏体感染的螯虾的甲壳呈蓝绿色, 发育不良、反应迟钝、濒临死亡、活力差、触角小, 组织学观察可见螯虾全身各处组织受到感染, 严重时肝胰腺萎缩^[52-53]。有报道^[54]称可能存在另一种仅感染螯虾肝胰腺上皮的立克次氏体。

防治方法: 有研究^[55]表明, 注射土霉素可以有效治疗立克次氏体病。

5 寄生虫病

已报道的红螯螯虾的寄生虫病主要有切头涡虫病和纤毛虫病。

5.1 切头涡虫病

切头涡虫属于扁形动物门 (*Platyhelminthes*) 涡虫纲 (*Turbellaria*) 切头目 (*Temnocephalida*), 是切头目所有种类的统称^[56]。我国的切头目物种仅记录有一属一种, 即辛氏切头涡虫 (*Temnocephala semperi*)^[57]。国外已报道有多种切头涡虫^[58-63]。切头涡虫通常寄生在螯虾的体表、鳃腔^[63]或卵^[58]中, 以周围环境中的碎屑为食。25℃ 时, 切头涡虫虫卵经过 25~30 d 孵化, 再经过 70~85 d 的生长达到性成熟并产卵。成虫通常固着在红螯螯虾触角、鳃、步足的基部、腹部的腹面边缘、额剑、口器和卵等部位, 其传播方式为经接触传播。当寄生体表时影响红螯螯虾外观质量而不影响宿主生长; 寄生鳃腔时影响虾的呼吸, 甚至死亡; 卵上寄生时会摄取卵黄^[9,58,64]。

防治方法: 目前切头涡虫没有药物可以针对性杀灭, 用 3% ~ 5% 的氯化钠溶液浸泡病虾 30 min, 浸泡 2 到 3 次可杀死虫卵。在人工繁殖时, 将虾苗与亲虾及时分开可起到预防效果^[63-64]。

5.2 纤毛虫 (Ciliophora) 病

在水质不良、有机物多时, 纤毛虫容易大量繁殖, 从而使虾体感染纤毛虫病。寄生虾体的常见纤毛虫有聚缩虫 (*Zoothamnium*, 聚缩虫科 *Zoothamniidae*)、累枝虫 (*Epistylis*, 累枝虫科 *Epistylidae*) 和钟形虫 (*Vorticella*, 钟虫科 *Vorticellidae*) 等。纤毛虫大量附着在成虾、幼虾、仔虾和受精卵的体表、附肢和鳃上时, 会妨碍虾的呼吸、游泳、活动、摄食和蜕壳, 影响生长、发育。尤其在鳃上大量附着时, 影响鳃的气体交换, 甚至会引起虾体缺氧而窒息死亡^[9,21]。该病对幼虾危害较严重, 成虾多在低温时被大量寄生^[9]。

防治方法: 1) 预防的重点在于养殖过程中底质的转化与维持, 通过合理投喂饲料来避免残饵并减少污染物的产生。水中含氧量维持在 4 mg/L 以上能确保底质在转化时有足够的含氧量。栽种轮叶黑藻 (*Hydrilla verticillata*)^[8] 等水草可增加水中含氧量, 吸收无机盐, 有助于底质改良。2) 病虾用 0.3 ~ 0.4 mg/L 溴氯海因泼洒一次^[65], 可治愈。3) 泼洒茶粕, 用量为 10 ~ 15 g/m³, 促使虾体脱壳, 并大量换水^[66]。

6 其他疾病

除了上述的由特定病原引起的疾病外, 在红螯螯虾养殖过程中还出现了一些由于理化因子异常、养殖环境恶化、未知病原所引起的疾病, 如黑斑病、烂尾病、黑鳃病、软壳病等。

6.1 黑斑病

黑斑病又称为褐斑病, 主要是因为水中有机质含量高, 导致分解甲壳质的真菌生长, 侵袭虾体造成感染^[40,67-68]。在养殖过程中, 当残饵或池塘淤泥过多、水质较差、水中有机质含量过高时, 有可能发生黑斑病。该病的症状为: 病虾的甲壳有斑点状黑褐色的溃疡, 斑点中部凹陷, 边缘呈白色, 大小、位置不定。在虾的各个部位都有可能发生, 一般在头胸甲和腹部前三节的背面发生较多。病虾活动减弱或者卧于池塘边缘, 处于濒死状态。有的病虾在脱壳时会因新老甲壳发生粘连, 造成大量死亡^[40,67-68]。

防治方法: 1) 保持养殖水体理化因子良好, 周期性换水, 定期使用生石灰, 每年进行池塘清淤; 2) 在捕捞、运输过程中要防止损伤虾壳; 3) 茶粕^[66]泡水后 (10 ~ 15 g/m³) 泼洒, 促使虾体蜕壳。该病主要以预防为主。

6.2 烂尾病

烂尾病症状表现为螯虾尾部和尾节有焦黄色糜烂。初期病虾尾部有小疮, 边缘溃烂、坏死或残缺不全; 随着病情恶化, 溃烂由边缘向中间发展; 严重感染时, 病虾整个尾部溃烂掉落, 食欲不振、活力减弱, 或出现死亡等。成虾患病概率更大。病因是虾体受伤, 相互残杀; 或被几丁质分解细菌感染; 或水质变差, 有害菌滋生^[7-8]。

防治方法: 运输和投放虾苗、虾种时, 避免堆压和损伤虾体。放苗前用 10 mg/L 的聚维酮碘溶液 (含有效碘 1%) 或 1% ~ 2% 的食盐水浸泡 3 ~ 5 min。养殖期间饵料要投足、投匀^[7]。发病时可全池泼洒聚维酮碘或复合碘; 同时拌料投喂氟苯尼考 + 水产多维, 连喂 3 ~ 5 d^[7]。

6.3 黑鳃病

病虾的鳃由红色变为褐色或淡褐色, 鳃丝渐渐发黑直至完全变黑, 局部发生霉烂并不断产生黏液, 最终萎缩坏死。病虾趋光性变弱、活动无力, 多数卧于池底或依附水草露出水外, 腹部卷曲, 体色变白, 爬行缓慢并拒食, 最终因呼吸困难而导致死亡^[7-8,67]。病因较多, 一是在养殖水体受到较严重的有机质污染时, 致病菌较多, 当池中缺氧时更为严重; 二是螯虾缺乏维生素, 个体生理代谢能力和免疫力下降, 造成鳃丝颜色变暗; 三是重金属中毒, 如铜含量过高时, 螯虾发生铜中毒, 鳃部发现黑色素沉淀^[8,67]。

防治方法: 1) 清除虾池内过多的有机物, 保持水中溶氧丰富; 2) 适量投饵, 及时排污换水, 防止水体败坏; 3) 如果是因为缺乏维生素 C 引起, 可以在饵料中添加维生素 C 或直接投喂富含维生素 C 的饵料; 4) 泼洒漂白粉, 用量为 $2 \sim 3 \text{ g/m}^3$ ^[67]。

6.4 烂鳃病

细菌附生在虾鳃上并大量繁殖, 阻碍鳃部血液流通并妨碍呼吸。鳃丝呈灰白色, 严重时鳃丝发黑、溃烂。病虾浮于水面, 游动缓慢, 反应迟钝, 食欲减退直至停食, 最终衰竭致死^[8]。

防治方法: 烂鳃病在水中含氧量过低时容易发生, 维持水中较高的含氧量能有效避免^[8]。

6.5 肠炎病

肠炎病是因水体中有害菌较多, 通过伤口、鳃、口等进入体内感染而发病; 或因摄食大量腐败变质食物, 使肠道内有害菌大量滋生。肠炎病病虾体质虚弱, 运动缓慢, 肠道增粗且发红, 解剖后发现肠胃内有液体或黄色脓状物, 无食物^[7-8]。嗜水气单胞菌是主要病原之一^[8]。

防治方法: 拌料投喂硫酸新霉素, 或氟苯尼考 + 复方磺胺二甲嘧啶 + 大蒜素, 连续投喂 1 周, 杀灭体内有害菌; 外用聚维酮碘或复合碘进行水体消毒^[7]。

6.6 水肿病

水肿病的症状是病虾头、胸内水肿, 呈透明状, 体内充水, 匍匐池边草丛中不吃不动, 最后在浅水滩死亡。主要是由于红螯螯虾腹部受伤后感染嗜水气单胞菌所致^[8]。

防治方法: 健康无伤的红螯螯虾不易产生水肿病, 避免红螯螯虾受伤是防治水肿病最好的方法。除了补足饲料防止互斗、残食外, 红螯螯虾刚脱壳时外壳脆弱、体力较差, 是犯病的高峰期, 可在养殖池中投放躲避物与合理种植水草, 让其有场所可以躲避, 减少互斗、残食导致受伤的现象, 从而降低水肿病产生的机会^[8]。

6.7 软壳病

病虾甲壳明显变软, 体形消瘦, 活动减弱, 生长缓慢, 有时体重下降, 并伴有死亡现象。此病归因于池塘淤泥积累, 使水质差, 或水体呈酸性, 或钙镁等离子不足^[6,67]。

防治方法: 淤泥厚的池塘冬季用生石灰清塘, 控制放养密度; 定期检测水体硬度, 及时补充钙质, 及时换水, 使用微生物制剂调节改善水质, 供应足够的优质饲料等^[6]。

6.8 脱壳障碍病

该病经常在淡水螯虾的早期仔虾和幼体中出现。病虾多在脱壳过程中或蜕壳后死亡, 病因主要是营养不良和水体中缺乏钙、磷等元素^[8,67]。

防治方法: 补充绿水 (含浮游藻类), 改善水质, 增加营养^[8]; 补充含有钙和磷的饲料^[8]; 采取改良水质与底质结合的方法, 多投喂鲜活饵料, 同时全池泼洒 10 mg/L 茶饼浸液或 20 mg/L 生石灰^[67]。

7 敌害

养殖期间, 敌害对红螯螯虾的捕食也是影响养殖产量的重要原因。几乎所有肉食性、杂食性鱼类都是螯虾养殖的敌害。在仔虾和幼虾期间, 蛙类及其幼体、蛇类、蜻蜓幼虫和水蜈蚣等水生昆虫也都会大量捕食仔虾和幼虾。

防治方法: 虾池进水时, 为防止害鱼及其卵进入池内, 应在进水口设置拦网。放养前要做好清塘工作, 清塘后要及时放苗, 避免空塘滋生蜻蜓幼虫和水蜈蚣等水生昆虫。为减少损失, 尽量放养大规模种苗。池塘周围做好隔离设施, 阻止蛙类、蛇类进入池塘。

8 疾病的常规预防和常用渔药

疾病是机体、病原、环境相互作用的结果。很多是条件致病性疾病, 在环境条件适宜、机体正常的情况下, 即使存在病原, 也不引起疾病。在疏于管理、水质较差时, 容易出现病害。对于疾病要早

发现早治疗。一旦出现严重的疾病,往往因为缺乏有效的治疗方法而造成养殖螯虾的大量死亡。因此,必须做好疾病的常规预防工作。疾病的常规预防工作主要包括:放苗前的池塘清整;放苗时对苗种的消毒处理;养殖期间的水质调控;预防性用药。

8.1 放苗前的池塘清整

在准备养殖前半个月,通常要先对池塘进行清整,清除底部过多的淤泥。然后,对池塘的底部和四周进行消毒。消毒的主要作用是杀灭细菌、病毒等病原体,纤毛虫等寄生虫,野杂鱼等敌害生物。根据不同的土壤 pH 值选用不同的药物。如果土壤 pH 值小于 7.6,使用生石灰进行消毒,可中和土壤酸性,还可增加水体钙含量,提高水体硬度;如果 pH 值大于 7.6,则使用漂白粉作为消毒剂。生石灰用量为 $150 \sim 200 \text{ g/m}^2$,漂白粉用量按 100 g/m^3 计算^[68]。此外,可以用茶粕来杀灭鱼类、蛙类等敌害,同时有肥水的效果,池塘带水按 3.33 kg/hm^2 (50 kg/亩) 的用量浸泡过夜后使用。

8.2 种苗的消毒处理

红螯螯虾种苗入塘前建议进行适当的消毒处理。有些养殖业者使用 3% ~ 4% (体积分数) 的氯化钠溶液浸泡 6 ~ 13 min,可以杀灭种苗体表携带的一些病原微生物和寄生虫^[68]。用 10 mg/L 的聚维酮碘溶液 (含有效碘 1%) 浸泡 3 ~ 5 min,可以杀灭一些病原微生物。

8.3 养殖期间的水质调控

在红螯螯虾养殖期间的水质调控方法,主要有换水和使用一些能调节水质和底质的产品或药物。定期换水是调控水质的有效方法。如果水体 pH 值低于 7.6,可每隔 20 ~ 30 d 泼洒一次生石灰,以此调节水体酸碱度、防病杀菌、增加钙质、提高水体硬度,有利于蜕壳,提高成活率。生石灰一般在换水后使用^[68]。如果水体 pH 值高于 7.6,可以添加乳酸菌以降低水体 pH 值。定期使用光合细菌^[69]、芽孢杆菌、EM 菌^[68-69]等微生态制剂可抑制有害菌,改良水质。几种菌最好交替使用,一般从肥水开始投第一次,每隔 15 d 一次,使用前 3 ~ 5 d 和使用后 3 ~ 5 d 不能使用消毒剂^[68-69]。如果水质变差,底质恶化,可以使用改良底质的药品,如粒粒氧、过硫酸氢钾等,用量可参考相关渔药的使用说明书。

8.4 预防性渔药

除了定期使用生石灰、微生物制剂等调节水质和改善底质外,可根据实际情况施用一些常规性药物或相关产品来预防病害。

漂白粉:除了用于清塘,在养殖期间也常用于杀菌消毒,可治疗细菌引起的黑鳃病,用量为 $2 \sim 3 \text{ g/m}^3$ ^[67]。

茶粕:除了在清塘时使用外,养殖期间也常用于清除鱼类、蛙类等敌害。茶粕对虾、蟹幼体无明显毒副作用,使用 $10 \sim 15 \text{ g/m}^3$ 茶粕泼洒,可促进螯虾蜕壳,治疗黑斑病和纤毛虫病^[67,70]。

聚维酮碘 (PVP-I):水产养殖生产上常用的消毒剂,对大部分细菌、真菌和病毒具有杀灭作用。聚维酮碘可对养殖水生动物进行体表及虾卵消毒,可以有效预防致病菌进入养殖水体^[71]。

过硫酸氢钾:主要用于直接氧化水体中的有机物,直接杀灭有害病菌,促进有益微生物繁殖,减少病害。

此外,市场上还有一些用于调控水质、培养有益藻类和益生菌类、预防疾病的渔用产品,大多可用于红螯螯虾的养殖,对于保持优良水质、促进螯虾健康生长、预防疾病有一定的效果。

9 展望

目前在红螯螯虾养殖生产中尚未爆发大规模的流行性疫病,但随着养殖规模的扩大和养殖密度的提高,病害防治工作需要加以重视,相关研究工作需要开展。第一,有关螯虾类对药物的耐受性研究甚少^[72-73],在药物使用上存在一定的盲目性,缺乏指导,今后应在这方面开展相关研究;第二,应在红螯螯虾致病菌对药物的敏感性方面开展研究,为养殖红螯螯虾提供有效的防治药方;第三,选育红螯螯虾抗病新品种;第四,研发红螯螯虾专用配合饲料;第五,红螯螯虾养殖过程中的病害防治应

以科学预防为主, 合理用药, 严禁使用违禁药品, 保障红螯螯虾养殖产业的健康发展^[74]。

[参 考 文 献]

- [1] 慕峰, 成永旭, 吴旭干. 世界淡水螯虾的分布与产业发展 [J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(1): 64-72.
- [2] CHENG S, JIA Y, CHI M, et al. Culture model of *Cherax quadricarinatus*: temporary shelter in shed and pond culture [J]. Aquaculture, 2020, 526: 735359.
- [3] SAOUD I P, GHANAWI J, THOMPSON K R, et al. A review of the culture and diseases of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868) [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2013, 44(1): 1-29.
- [4] 顾志敏, 许谷星, 黄鲜明, 等. 红螯螯虾的室内人工育苗 [J]. 水产学报, 2003, 27(1): 32-37.
- [5] 彭刚, 徐宇, 张燕, 等. 红螯螯虾累代繁养群体的遗传多样性分析 [J]. 水产科学, 2020, 39(4): 615-619.
- [6] 韩书煜, 沈建. 澳洲淡水龙虾养殖及疾病预防、治疗技术 (上) [J]. 科学养鱼, 2019(8): 91.
- [7] 韩书煜, 沈建. 澳洲淡水龙虾养殖及疾病预防、治疗技术 (下) [J]. 科学养鱼, 2019(9): 91.
- [8] 吴国正. 红螯螯虾常见疾病与拟生态防治 [J]. 中国水产, 2019(10): 86-87.
- [9] 潘晓艺, 沈锦玉, 曹铮, 等. 红螯螯虾主要病害的研究进展 [J]. 水产科学, 2009, 28(8): 485-488.
- [10] 张叔勇, 舒新亚. 淡水螯虾的病毒性病原研究进展 [J]. 水产科技情报, 2009, 36(4): 170-175.
- [11] LONGSHAW M. Diseases of crayfish: a review [J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2011, 106(1): 54-70.
- [12] 陈昌福, 冯东岳, 陈辉, 等. 淡水螯虾传染性病害及其防控方法 [J]. 当代水产, 2016(5): 70-72.
- [13] YANG F, HE J, LIN X, et al. Complete genome sequence of the shrimp white spot bacilliform virus [J]. Journal of Virology, 2001, 75(23): 11811-11820.
- [14] SHI Z, HUANG C, ZHANG J, et al. White spot syndrome virus (WSSV) experimental infection of the freshwater crayfish, *Cherax quadricarinatus* [J]. Journal of Fish Diseases, 2000, 23(4): 285-288.
- [15] 沈锦玉, 袁军法, 潘晓艺, 等. 红螯螯虾感染白斑综合征病毒 [J]. 水产学报, 2007, 31(4): 556-560.
- [16] ANDERSON I G, PRIOR H C. Baculovirus infections in the mud crab, *Scylla serrata*, and a freshwater crayfish, *Cherax quadricarinatus*, from Australia [J]. Journal of Invertebrate Pathology, 1992, 60(3): 265-273.
- [17] GROFF J M, MCDOWELL T, FRIEDMAN C S, et al. Detection of a nonoccluded baculovirus in the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* in North America [J]. Journal of Aquatic Animal Health, 1993, 5(4): 275-279.
- [18] EDGERTON B. A new bacilliform virus in Australian *Cherax destructor* (Decapoda: Parastacidae) with notes on *Cherax quadricarinatus* bacilliform virus (= *Cherax baculovirus*) [J]. Diseases of Aquatic Organisms, 1996, 27(1): 43-52.
- [19] EDGERTON B F, BOWENS L, GLASSON B, et al. Description of a small dsRNA virus from freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* [J]. Diseases of Aquatic Organisms, 1994, 18(1): 63-69.
- [20] EDGERTON B, OWENS L. Age at first infection of *Cherax quadricarinatus* by *Cherax quadricarinatus* bacilliform virus and *Cherax giardiavirus*-like virus, and production of putative virus-free crayfish [J]. Aquaculture, 1997, 152(1/2/3/4): 1-12.
- [21] EDGERTON B F. A compendium of idiopathic lesions observed in redclaw freshwater crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens) [J]. Journal of Fish Diseases, 2000, 23(2): 103-113.
- [22] BOWATER R O, WINGFIELD M, FISK A, et al. A parvo-like virus in cultured redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* from Queensland, Australia [J]. Diseases of Aquatic Organisms, 2002, 50(2): 79-86.
- [23] EDGERTON B F, WEBB R I, ANDERSON I G, et al. Description of a presumptive hepatopancreatic reovirus, and a putative gill parvovirus, in the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* [J]. Diseases of Aquatic Organisms, 2000, 41(2): 83-90.
- [24] OWENS L, MCELNEA C. Natural infection of the redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* with presumptive spawner-isolated mortality virus [J]. Diseases of Aquatic Organisms, 2000, 40(3): 219-223.
- [25] HAYAKIKOSOL O, OWENS L. Investigation into the pathogenicity of reovirus to juvenile *Cherax quadricarinatus* [J]. Aquaculture, 2011, 316(1): 1-5.
- [26] SAKUNA K, ELLIMAN J, OWENS L, et al. Discovery of a novel Picornavirales, *Chequa iflavivirus*, from stressed redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) from farms in northern Queensland, Australia [J]. Virus Research, 2017: 148-155.

- [27] XU L, WANG T, LI F, et al. Isolation and preliminary characterization of a new pathogenic iridovirus from redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* [J]. Diseases of Aquatic Organisms, 2016, 120(1): 17-26.
- [28] SOOWANNAYAN C, NGUYEN G T, PHAM L N, et al. Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) is susceptible to yellow head virus (YHV) infection and can transmit it to the black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) [J]. Aquaculture, 2015, 445: 63-69.
- [29] LA FAUCE K L, OWENS L. Investigation into the pathogenicity of *Penaeus merguensis* densovirus (*Pmerg* DNV) to juvenile *Cherax quadricarinatus* [J]. Aquaculture, 2007, 271(1): 31-38.
- [30] HAYAKIKOSOL O, FAUCE K L, OWENS L. Experimental infection of redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) with *Macrobrachium rosenbergii* nodavirus, the aetiological agent of white tail disease [J]. Aquaculture, 2011, 319(1/2): 1-29.
- [31] 吴庆东, 冷忠业, 车向庆, 等. 南美白对虾白斑病毒病救治实例 [J]. 科学养鱼, 2015(1): 66.
- [32] 张诗雨, 谢梦琪, 许荔立, 等. 壳寡糖对克氏原螯虾消化酶活性、肠道菌群结构、血清非特异性免疫指标及抗病力的影响 [J]. 动物营养学报, 2020, 32(12): 5864-5874.
- [33] 孟情. 复方中草药对克氏原螯虾生长、免疫功能及肝肠组织的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- [34] 沈锦玉, 顾志敏, 潘晓艺, 等. 红螯螯虾弗氏柠檬酸杆菌病原的分离与鉴定 [J]. 中国水产科学, 2005, 12(2): 197-200.
- [35] EAVES L E, KETTERER P J. Mortalities in red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* associated with systemic *Vibrio mimicus* infection [J]. Diseases of Aquatic Organisms, 1994, 19(3): 233-237.
- [36] WONG F Y K, FOWLER K, DESMARCHELIER P M. Vibriosis due to *Vibrio mimicus* in Australian freshwater crayfish [J]. Journal of Aquatic Animal Health, 1995, 7(4): 284-291.
- [37] HAYAKIKOSOL O, OWENS L, PICARD J. Case report of bacterial infections in a redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) hatchery [J]. Aquaculture, 2017, 475: 1-7.
- [38] 陈凯, 谢骏, 吴家玉, 等. 中草药对异育银鲫感染嗜水气单胞菌防治效果的研究 [J]. 科学养鱼, 2020(5): 48-50.
- [39] ALDERMAN D J, POLGLASE J L, HOLDICH D M, et al. Pathogens, parasites and commensals [C] // HOLDICH D M, LOWERY R S. Freshwater Crayfish Biology Management and Exploitation. Portland: Timber Press, 1988: 167-212.
- [40] 林弘. 澳洲红螯螯虾的饲养 [J]. 上饶师范学院学报, 2000(6): 62-64.
- [41] GYDEMO R. Crayfish diseases and management-the need for knowledge [J]. Finnish Fisheries Research, 1992(14): 119-124.
- [42] DIÉGUEZ-URIBEONDO J, CERENIUS L, SÖDERHÄLL K. *Saprolegnia parasitica* and its virulence on three different species of freshwater crayfish [J]. Aquaculture, 1994, 120(3/4): 219-228.
- [43] HERBERT B. Notes on diseases and epibionts of *Cherax quadricarinatus* and *C. tenuimanus* (Decapoda: Parastacidae) [J]. Aquaculture, 1987, 64(3): 165-173.
- [44] 苏惠冰, 尹清干, 杨先乐, 等. 利用复方甲霜灵粉防治鱼苗孵化过程中的水霉病 [J]. 科学养鱼, 2017(9): 69.
- [45] HSIEH C Y, CHEN W H, PAN Y C. Crayfish plague *Aphanomyces astaci* detected in redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* in Taiwan [J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2016, 136: 117-123.
- [46] MARINO F, PRETTO T, TOSI F, et al. Mass mortality of *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) reared in Sicily (Italy): crayfish plague introduced in an intensive farming [J]. Freshwater Crayfish, 2014, 20(1): 93-96.
- [47] PRETTO T, MONTESI F, GHIA D, et al. Ultrastructural and molecular characterization of *Vairimorpha austropotamobii* sp. nov. (Microsporidia: Burenellidae) and *Thelohania contejeani* (Microsporidia: Thelohaniidae), two parasites of the white-clawed crayfish, *Austropotamobius pallipes* complex (Decapoda: Astacidae) [J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2018, 151: 59-75.
- [48] EDGERTON B F, OWENS L. Histopathological surveys of the redclaw freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* in Australia [J]. Aquaculture, 1999, 180(1/2): 23-40.
- [49] 吴慧, 李全杰. 河蟹微孢子虫病的病理及防控措施 [J]. 科学养鱼, 2018(5): 67.
- [50] TAN C K, OWENS L. Infectivity, transmission and 16S rRNA sequencing of a rickettsia, *Coxiella cheraxi* sp. nov., from the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* [J]. Diseases of Aquatic Organisms, 2000, 41(2): 115-122.

- [51] ROMERO X, JIMÉNEZ R. Histopathological survey of diseases and pathogens present in redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens), cultured in Ecuador [J]. *Journal of Fish Diseases*, 2002, 25(11): 653-667.
- [52] JIMÉNEZ R, ROMERO X. Infection by intracellular bacterium in red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens), in Ecuador [J]. *Aquaculture Research*, 1997, 28(12): 923-929.
- [53] ROMERO X, TURNBULL J F, JIMÉNEZ R. Ultrastructure and cytopathology of a rickettsia-like organism causing systemic infection in the redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Crustacea: Decapoda), in Ecuador [J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2000, 76(2): 95-104.
- [54] EDGERTON B F, PRIOR H C. Description of a hepatopancreatic rickettsia-like organism in the redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* [J]. *Diseases of Aquatic Organisms*, 1999, 36(1): 77-80.
- [55] OWENS L, MUIR P, SUTTON D, et al. The pathology of microbial diseases in tropical Australian Crustacea [C] // SHARIFF M, SUBASINGHE R P, AUTHUR J R. *Diseases in Asian aquaculture 1: fish health section*. Manila: Asian Fisheries Society, 1992: 165-172.
- [56] 李光鹏. 我国涡虫纲分类学的研究 [J]. *动物学杂志*, 1994, 29(2): 58-62.
- [57] 陈广文, 陈晓虹, 刘德增. 中国涡虫纲分类学研究进展 [J]. *水生生物学报*, 2001, 25(4): 406-412.
- [58] BRAND J. The association of a novel *Decadidymus* species (Temnocephalida) with Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*): impacts and management [D]. Southampton: University of Southampton, 2017.
- [59] BAER J G. Zoological results of the Dutch New Guinea expedition 1939: No. 4. Temnocephales [J]. *Zoologische Mededelingen*, 1953, 32(13): 119-140.
- [60] CANNON L R G. *Temnocephalan symbionts of the freshwater crayfish Cherax quadricarinatus* from northern Australia [J]. *Hydrobiologia*, 1991, 227(1): 341-347.
- [61] WATSON N A, KLAUS R, KIM B S. Ultrastructure of spermiogenesis and spermatozoa of *Decadidymus gulosus*, *Temnocephala dendyi*, *T. minor*, *Craspedella* sp., *C. spenceri* and *Diceratocephala boschmai* (Platyhelminthes, Temnocephalida, Temnocephalidae), with emphasis on the intercentriolar body and zone of differentiation [J]. *Invertebrate Reproduction & Development*, 1995, 27(2): 131-143.
- [62] SEWELL, KIM B. Key to the genera and checklist of species of Australian temnocephalans (Temnocephalida) [J]. *Museum Victoria Science Reports*, 2013, 17: 1-13.
- [63] JONES T C, LESTER R G J. Aspects of the biology and pathogenicity of *Diceratocephala boschmai* (Platyhelminthes: Temnocephalida), an ectosymbiont on the redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* [J]. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 1993, 44(6): 927-933.
- [64] 吴志新, 陈孝煊, 林娟娟. 澳大利亚红螯螯虾体表切头虫 (*Diceratocephala* sp.) 的初步研究 [J]. *水产科技情报*, 1998, 25(1): 14-16.
- [65] 贺宝祥, 李建应, 朱水法, 等. 青虾常见疾病防治技术 [J]. *淡水渔业*, 2002, 32(4): 30-31.
- [66] 邓楠楠. 常州市主要水产养殖病害及防治方法 [J]. *科学养鱼*, 2018(12): 59-61.
- [67] 张湘昭. 澳洲淡水龙虾养殖技术 (六) [J]. *农村养殖技术*, 2000(6): 12.
- [68] 姚振海, 钱伦, 沈晨飞, 等. 澳洲淡水龙虾池塘高效养殖技术 [J]. *科学养鱼*, 2018(5): 29-30.
- [69] 李继勋. 澳洲淡水龙虾繁育与养殖配套技术 [J]. *北京水产*, 2007(2): 27-30.
- [70] 薛志成. 澳洲淡水龙虾养殖技术 [J]. *北京水产*, 2007(1): 18-19.
- [71] 杨先乐. 新编渔药手册 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 230-232.
- [72] 吴志新, 陈孝煊. 红螯螯虾对3种药物耐受性的研究 [J]. *华中农业大学学报*, 2000, 19(4): 381-383.
- [73] 吴志新, 陈孝煊, 李良华. 红螯螯虾对高锰酸钾、敌百虫和漂白粉耐受性的研究 [J]. *华中农业大学学报*, 1998, 17(1): 61-65.
- [74] 杨先乐. 淡水虾蟹的重大疾病及其防治对策 [J]. *淡水渔业*, 2001, 31(6): 46-48.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄力行)