

天然水体中水质因子对虾肝肠胞虫(EHP)感染率影响的分析研究

孙妍^{1,2*}, 董学旺^{1,2}, 魏俊利^{1,2}, 刘群^{1,2}, 薛洋洋³, 陈浩楠^{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天津滨海新区海通江水产养殖专业合作社, 天津

收稿日期: 2025年11月4日; 录用日期: 2025年12月8日; 发布日期: 2025年12月16日

摘要

为明确天然水体中水质因子对虾肝肠胞虫(EHP)感染率的影响, 本研究选取天津市5个已检出EHP的南美白对虾养殖室外池塘, 于5月中旬起每20天采样1次, 共开展4次采样(覆盖养殖早、中、中后及终末期), 每次采集20~30尾鲜活对虾及池塘水。通过测定水体中氨氮(NH_3NH_4^+)、亚硝酸盐(NO_2^- -N)、化学需氧量(COD)浓度, 同时检测对虾EHP检出率, 分析三者与EHP检出率的关系。结果表明: 水体 NH_3NH_4^+ 、 NO_2^- -N、COD浓度与对虾EHP检出率整体呈正相关, 且当 $\text{NH}_3\text{NH}_4^+ < 1 \text{ mg/L}$ 、 NO_2^- -N $< 0.01 \text{ mg/L}$ 、COD $< 18 \text{ mg/L}$ 时可抑制对虾体内EHP增殖, 降低传播感染速率。该研究数据贴合生产实际, 为对虾养殖中EHP的有效防治提供了理论依据。

关键词

虾肝肠胞虫, 氨氮(NH_3NH_4^+), 亚硝酸盐(NO_2^- -N), 化学需氧量(COD)

Analysis on the Influence of Water Quality Factors in Natural Water Bodies on the Infection Rate of *Enterocytozoon hepatopenaei* (EHP) in Shrimp

Yan Sun^{1,2*}, Xuewang Dong^{1,2}, Junli Wei^{1,2}, Qun Liu^{1,2}, Yangyang Xue³, Haonan Chen^{1,2#}

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 孙妍, 董学旺, 魏俊利, 刘群, 薛洋洋, 陈浩楠. 天然水体中水质因子对虾肝肠胞虫(EHP)感染率影响的分析研究[J]. 农业科学, 2025, 15(12): 1469-1481. DOI: 10.12677/hjas.2025.1512184

¹Animal Disease Prevention and Control Center of Tianjin, Tianjin²Tianjin Professional Laboratory of Aquaculture Disease, Tianjin³Haitong Jiangyang Aquaculture Professional Cooperative of Tianjin Binhai New Area, Tianjin

Received: November 4, 2025; accepted: December 8, 2025; published: December 16, 2025

Abstract

To clarify the impact of water quality factors in natural water bodies on the carriage of *Enterocytozoon hepatopenaei* (EHP) in shrimp, this study selected 5 outdoor *Penaeus vannamei* culture ponds in Tianjin where EHP had been detected. Starting from the middle of May, sampling was conducted once every 20 days, with a total of 4 samplings (covering the early, middle, mid-late, and final stages of culture). During each sampling, 20~30 live shrimp and pond water were collected. The concentrations of ammonia nitrogen (NH_3NH_4^+), nitrite ($\text{NO}_2^- \text{-N}$), and chemical oxygen demand (COD) in the water were determined, while the EHP detection rate in shrimp was tested to analyze the relationship between these three water quality indicators and the EHP detection rate. The results showed that the concentrations of NH_3NH_4^+ , $\text{NO}_2^- \text{-N}$, and COD in water were generally positively correlated with the EHP detection rate in shrimp. Moreover, when $\text{NH}_3\text{NH}_4^+ < 1 \text{ mg/L}$, $\text{NO}_2^- \text{-N} < 0.01 \text{ mg/L}$, and $\text{COD} < 18 \text{ mg/L}$, the proliferation of EHP in shrimp could be inhibited, and the rate of transmission and infection could be reduced. The data from this study are in line with actual production conditions and provide a theoretical basis for the effective prevention and control of EHP in shrimp culture.

Keywords

Enterocytozoon hepatopenaei, Ammonia Nitrogen, Nitrite, Chemical Oxygen Demand

Copyright © 2025 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

虾肝肠胞虫(*Enterocytozoon hepatopenaei*, EHP)属于真菌界(Fungi)微孢子虫门(Microsporidia)单倍期纲(Haplophasea)壶孢目(Chytridiopsida)肠胞虫科(Enterocytozoonidae)肠胞虫属(*Enterocytozoon*) [1], 属于细胞内寄生[2], 是目前影响对虾养殖的主要病原之一, 并有较高的感染率。感染 EHP 的对虾仍然可以继续存活和进食, 但会出现生长缓慢甚至停止生长的现象, 导致养殖户浪费过多的饲料, 造成严重的经济损失 [3]。

目前相关研究还主要集中在 EHP 对对虾生长状况的影响方面, 根据生产实践经验, EHP 的传播增殖也会受到水质的影响。徐盛威等人[4] [5]进行了高浓度氨氮及高亚硝酸盐胁迫下, 对虾体内 EHP 病原携带量及生长影响的相关实验, 段健诚等人[6]开展了在不同盐度和温度条件下, 水体氨氮浓度对脊尾白虾 EHP 传播速度的影响实验, 胡吉卉等人[7]探索了脊尾白虾在不同浓度亚硝态氮胁迫下, EHP 在虾体内的增殖情况等研究。实验结果均体现出水体中的氨氮及亚硝酸盐等水质因子对虾体内 EHP 的增殖及感染有明确的相关性, 但由于上述文献的实验结论都是通过人工胁迫实验动物得到的, 所以对摸索出的实验数

据差异较大,甚至结论也截然相反。笔者也认为大部分文献得到的实验结论是通过室内动物养殖实验得到的,而天然水体缓冲能力强,环境因素也更为复杂,得到的实验结论与自然水体情况不可能完全适用,并不适用于指导对虾养殖生产过程中 EHP 的防控工作。

因此,为初步了解天然状态下水质因子对 EHP 携带增殖的影响,本文选择了几个已有 EHP 阳性检出的对虾养殖池塘进行了水质和对虾样本的定时采样监测分析,初步开展了水质因子($\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 、 NO_2^- -N 以及 COD)与对虾 EHP 携带增殖的相关性分析,为有效的 EHP 防治手段提供理论依据。

2. 材料与方法

2.1. 实验材料

主要试剂:海洋动物组织 DNA 提取试剂盒购自北京天根生物科技有限公司;Premix Ex Tag、无酶水等购自 TaKara;引物由英俊公司合成纯化;亚硝酸钠、氯化铵分析纯购自上海生工。

主要仪器:高速冷冻离心机(艾本德);PCR 仪(ABI);分光光度计(北京六一)。

实验动物:本研究用于测定 EHP 检出率的南美白对虾采集自天津市各涉渔区挑选出 5 个已检测出 EHP 的南美白对虾养殖室外池塘(将 5 个池塘分别命名为 A 池塘、B 池塘、C 池塘、D 池塘和 E 池塘,均为南美白对虾精养池塘,放养密度为 3 万尾/亩,每日投喂 2 次饵料,5 个池塘的对虾均已表现出体长、体重差异明显且 EHP 核酸检测结果均出现阳性)。

2.2. 样品和数据的收集和测定

从 5 月中旬开始每间隔 20 天分别在 5 个采样池塘随机采集 20 尾~30 尾鲜活对虾及池塘水(3 个平行样本),带回实验室分别进行水体 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 、 NO_2^- -N 以及 COD 的测定[8]-[10],同时将鲜活的对虾立即解剖,提取核酸进行 EHP 的检测[11]。

2.3. 池塘水体中 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 、 NO_2^- -N 和 COD 的浓度与对虾 EHP 检出率关系的研究方法

在 5 个池塘的对虾养殖全过程中共进行 4 次采样,分为养殖早期(第一次采样)、养殖中期(第二次采样)、养殖中后期(第三次采样)、养殖终末期(第四次采样)。以采样点为横坐标,以 EHP 检出率和 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ (NO_2^- -N/COD)浓度为纵坐标绘制各采样池塘的线性关系图,分析水体中 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 、 NO_2^- -N 和 COD 浓度与对虾 EHP 检出率的关系。

3. 结果

3.1. 天然水体中 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 与对虾 EHP 检出率的关系

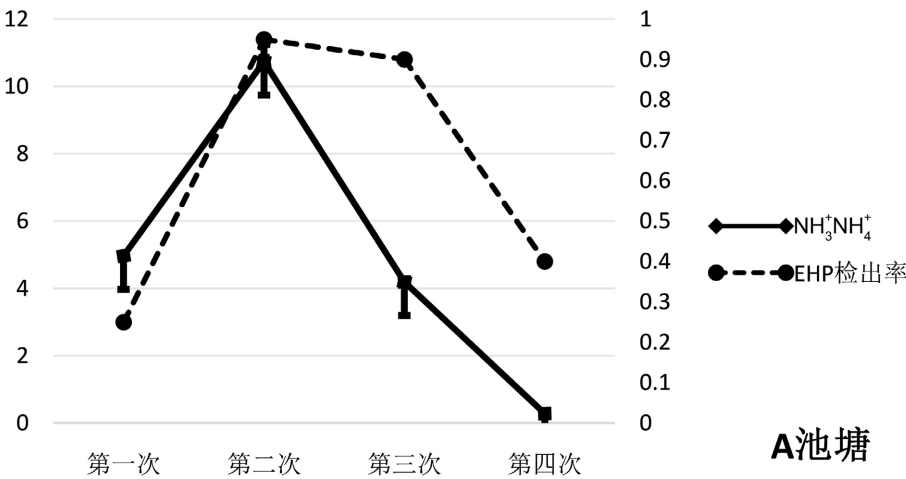
由图 1 所示, A 池塘 EHP 检出率随着 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度的升高而增大,随着 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度的下降而减小,第二、三次采样 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度分别为 $10.74 \pm 0.50 \text{ mg/L}$ 和 $4.19 \pm 0.07 \text{ mg/L}$ 时, EHP 检出率升高至 90%~95%; B 池塘四次水样的 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度基本介于 $1.7\sim 3.6 \text{ mg/L}$ 之间,变化波动不大, EHP 检出率呈现出先升高后下降的趋势,但该池塘 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度升高至 $2.2\sim 3.6 \text{ mg/L}$ 之间时 EHP 检出率提升至 100%; C 池塘、D 池塘和 E 池塘 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度基本都处于较低水平,浓度几乎都小于 2.5 mg/L , EHP 检出率波动较大,最高达到 80%,最低无检出,但可以观察到当没有 EHP 检出或检出率小于 50%时, $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度都小于 1 mg/L ,其中 C 池塘第一次采样水体 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度为 $2.62 \pm 0.007 \text{ mg/L}$ 时, EHP 检出率为 80%,第二、三次采样水体 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度降为 $0.61 \pm 0.01 \text{ mg/L}$ 和 $0.38 \pm 0.01 \text{ mg/L}$ 时, EHP 检出率也下降至 30%~0%, D、E 池塘水体 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度与 EHP 检出率的关系也基本相同,从检测数据(表 1)和趋势图(图 1)观察,水体 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度与 EHP 检出率呈正相关性,即 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度越高, EHP 检出率越高, $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$

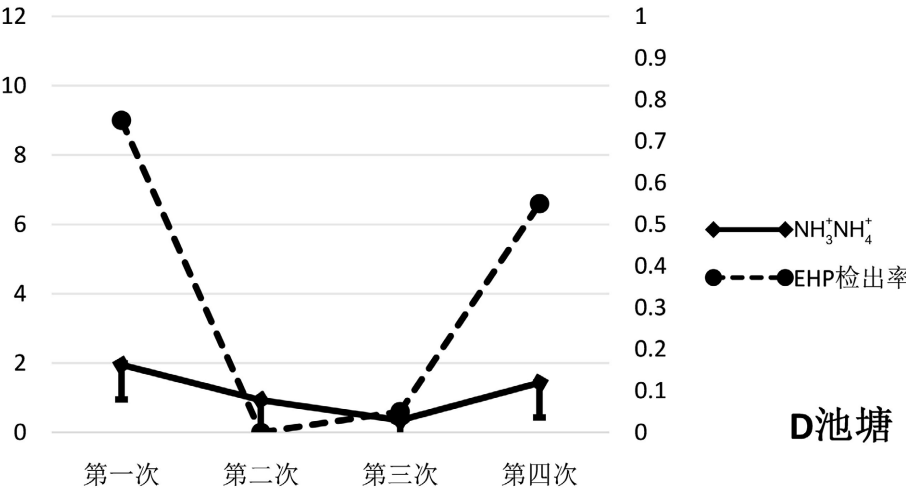
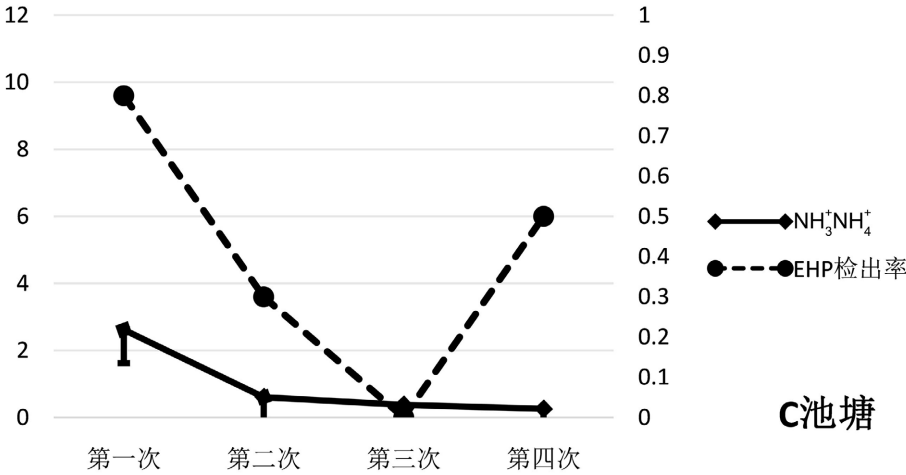
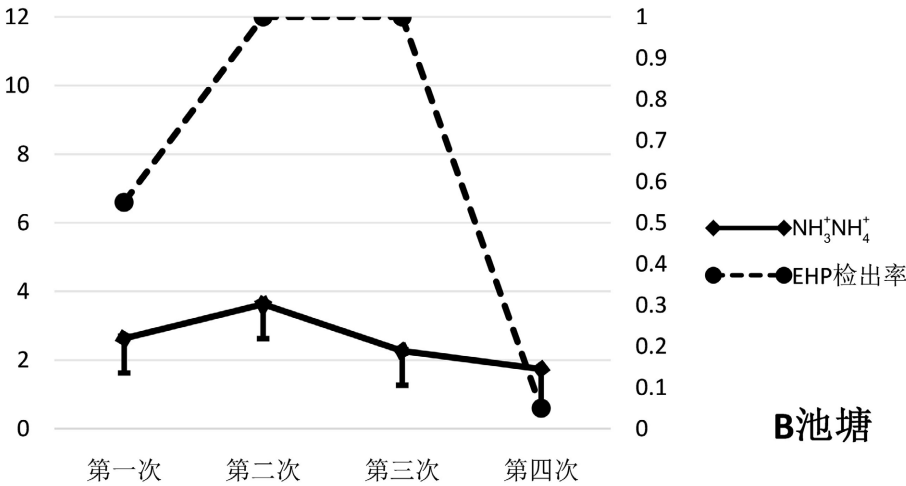
浓度下降, EHP 检出率也呈现下降趋势, 当 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度 $< 1 \text{ mg/L}$ 时, EHP 检出率相对较低。

Table 1. The ammonia nitrogen ($\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$) concentration and EHP detection rate in 5 sampling ponds

表 1. 5 个采样池塘氨氮 ($\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$) 浓度与 EHP 检出率

池塘编号	采样时间	$\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ (mg/L)	EHP 检出率
A 池塘	放苗初期(第一次采样)	4.97 ± 0.06	25%
	养殖中期(第二次采样)	10.74 ± 0.50	95%
	养殖中后期(第三次采样)	4.19 ± 0.07	90%
	养殖终末期(第四次采样)	0.279 ± 0.0006	40%
B 池塘	第一次采样	2.63 ± 0.07	55%
	第二次采样	3.63 ± 0.03	100%
	第三次采样	2.27 ± 0.04	100%
	第四次采样	1.74 ± 0.01	5%
C 池塘	第一次采样	2.62 ± 0.007	80%
	第二次采样	0.61 ± 0.01	30%
	第三次采样	0.38 ± 0.01	0%
	第四次采样	0.26 ± 0.003	50%
D 池塘	第一次采样	1.95 ± 0.04	75%
	第二次采样	0.93 ± 0.05	0%
	第三次采样	0.35 ± 0.04	5%
	第四次采样	1.43 ± 0.008	55%
E 池塘	第一次采样	1.21 ± 0.02	50%
	第二次采样	0.31 ± 0.06	0%
	第三次采样	0.7 ± 0.06	50%
	第四次采样	0.39 ± 0.05	0%





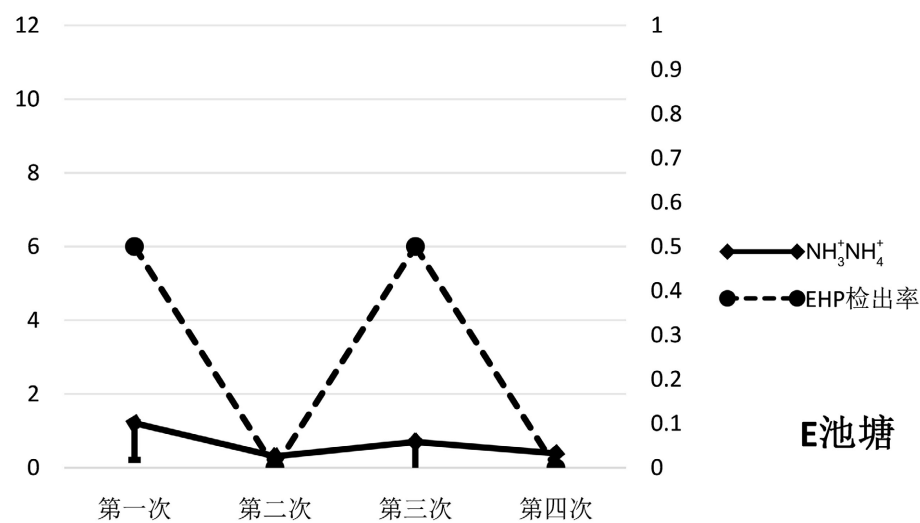


Figure 1. The relationship between $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ concentration in water and EHP detection rate from four samplings in five ponds

图 1. 5 个池塘四次采样水体 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度与 EHP 检出率的关系

3.2. 天然水体中 NO_2^- -N 与对虾 EHP 检出率的关系

如图 2 所示，A、B 池塘水体 NO_2^- -N 浓度与 EHP 检出率趋势呈正相关，即 EHP 检出率随着 NO_2^- -N 浓度的升高而升高，随着 NO_2^- -N 浓度的降低而降低。C、D 池塘 EHP 初始检出率较高分别为 80% 和 75%，但随着 NO_2^- -N 浓度的逐步降低，检出率也有明显的下降，至第四次采样水体 NO_2^- -N 浓度出现小幅升高后，EHP 检出率出现回升现象。E 池塘水体 NO_2^- -N 浓度与 EHP 检出率的关系同样出现了同步升高降低的趋势，即当 NO_2^- -N 浓度从 $0.227 \pm 0.0006 \text{ mg/L}$ 下降到 $0.012 \pm 0.0 \text{ mg/L}$ 时，EHP 检出率从 50% 下降至 0%，而后 NO_2^- -N 浓度从 $0.372 \pm 0.001 \text{ mg/L}$ 下降到 $0.003 \pm 0.00005 \text{ mg/L}$ 时，EHP 检出率同样从 50% 下降至 0%。从检测数据(表 2)和趋势图(图 2)观察发现，水体中 NO_2^- -N 浓度低于 0.01 mg/L 时，EHP 检出率较低，基本介于 0%~30% 之间，也可以观察到水体 NO_2^- -N 浓度与 EHP 检出率基本呈正相关性趋势，即 NO_2^- -N 浓度升高，EHP 检出率也随之升高， NO_2^- -N 浓度下降，EHP 检出率也呈现下降趋势。

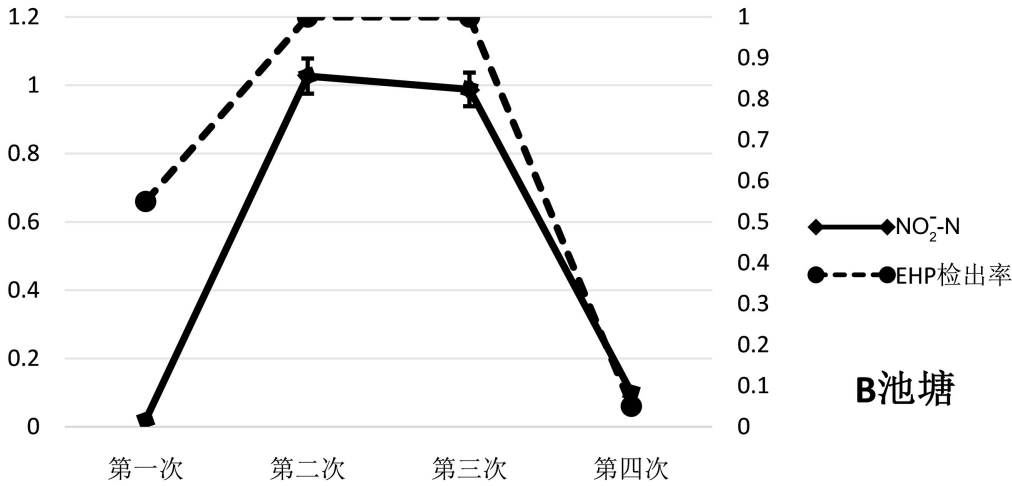
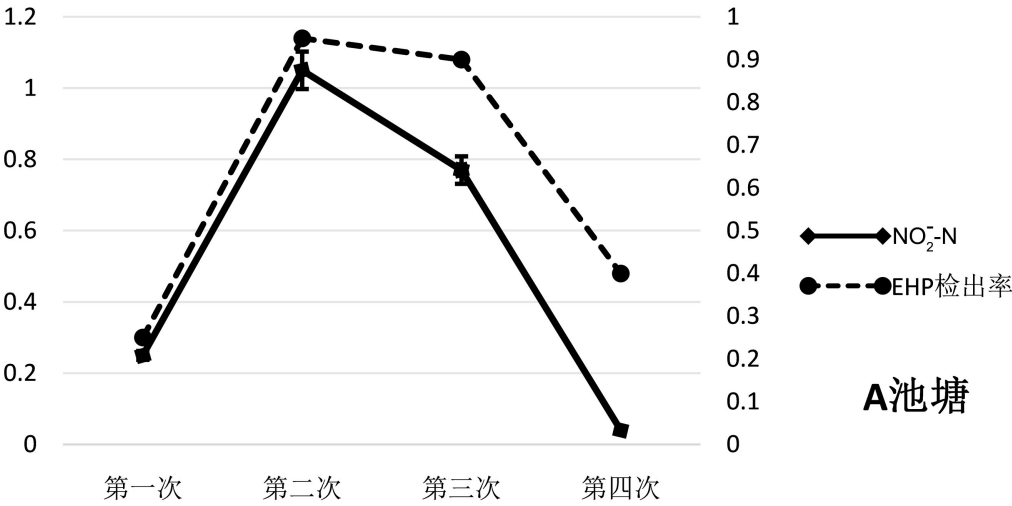
Table 2. The nitrite (NO_2^- -N) concentration and EHP detection rate in 5 sampling ponds

表 2. 5 个采样池塘亚硝酸盐(NO_2^- -N)浓度与 EHP 检出率

池塘编号	采样时间	NO_2^- -N (mg/L)	EHP 检出率
A 池塘	放苗初期(第一次采样)	0.25 ± 0.001	25%
	养殖中期(第二次采样)	1.05 ± 0.006	95%
	养殖中后期(第三次采样)	0.77 ± 0.0005	90%
	养殖终末期(第四次采样)	0.04 ± 0.001	40%
B 池塘	第一次采样	0.0202 ± 0.00005	55%
	第二次采样	1.027 ± 0.0	100%
	第三次采样	0.988 ± 0.0005	100%
	第四次采样	0.101 ± 0.0015	5%

续表

C 池塘	第一次采样	0.1135 ± 0.00005	80%
	第二次采样	0.0035 ± 0.00005	30%
	第三次采样	0.0035 ± 0.00005	0%
	第四次采样	0.0024 ± 0.00005	50%
D 池塘	第一次采样	0.0165 ± 0.016	75%
	第二次采样	0.0065 ± 0.0064	0%
	第三次采样	0.0069 ± 0.0069	5%
	第四次采样	0.022 ± 0.022	55%
E 池塘	第一次采样	0.227 ± 0.0006	50%
	第二次采样	0.012 ± 0.0	0%
	第三次采样	0.372 ± 0.001	50%
	第四次采样	0.003 ± 0.00005	0%



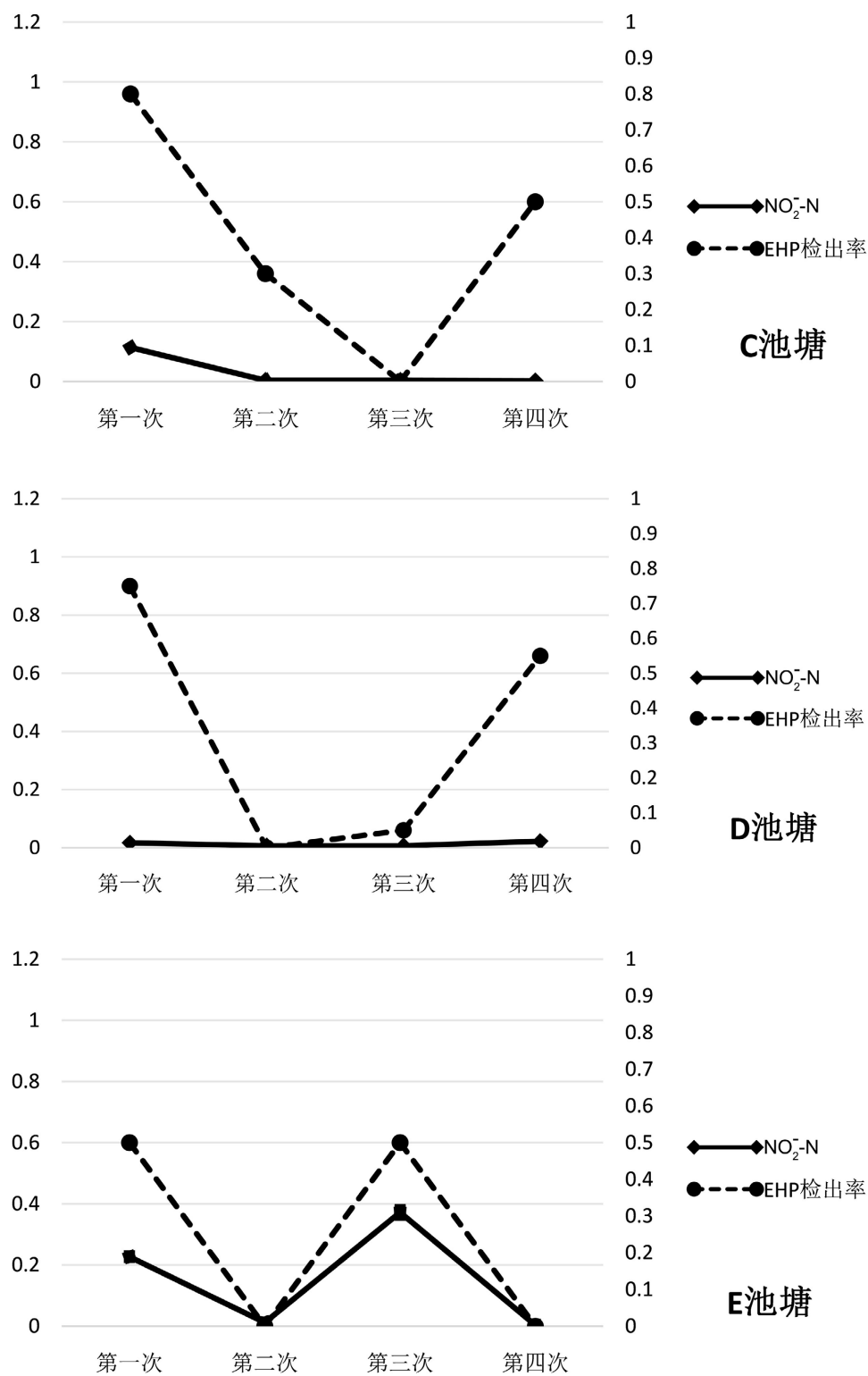


Figure 2. The relationship between nitrite nitrogen ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) concentration in water and EHP detection rate from four samplings in five ponds

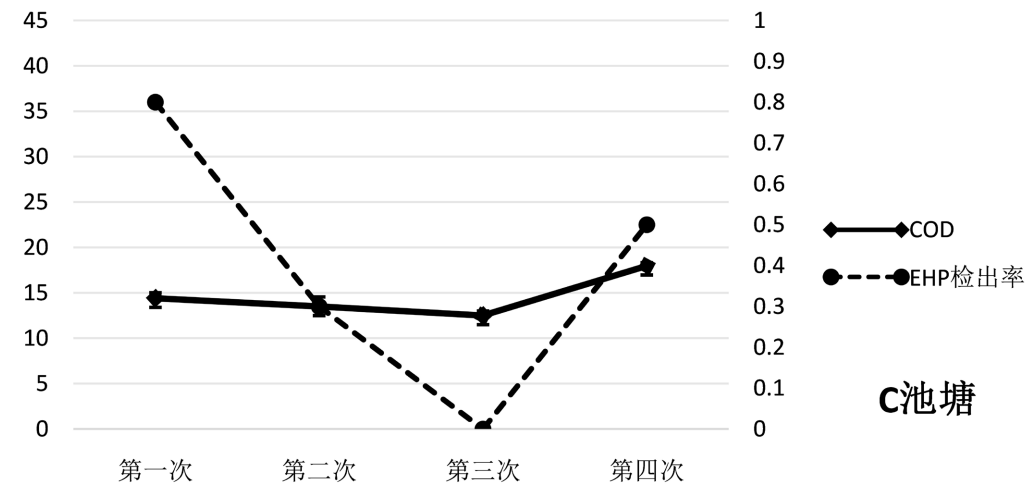
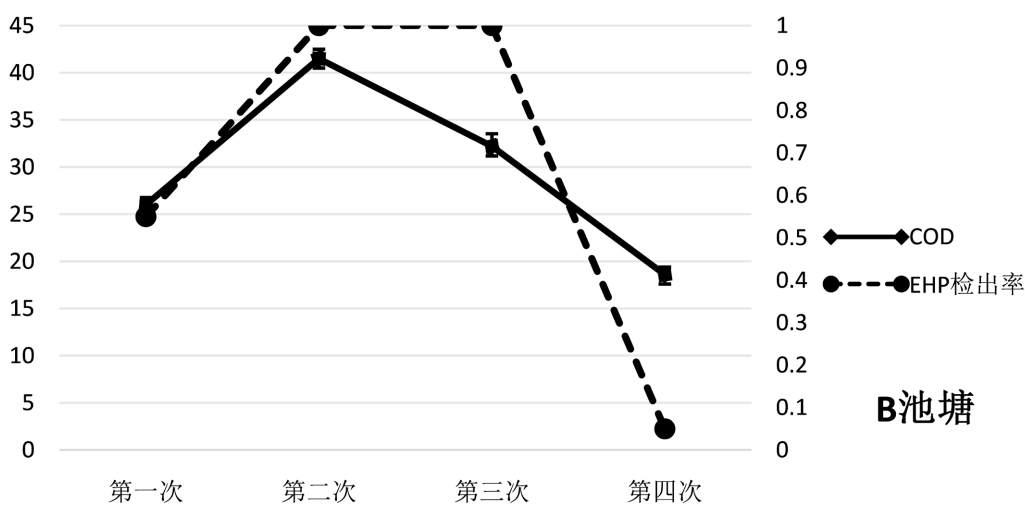
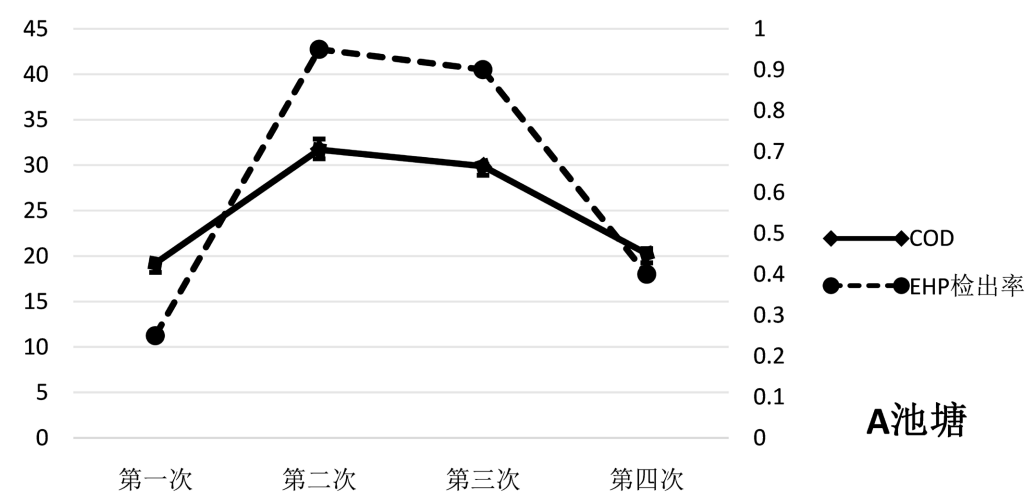
图 2. 5 个池塘四次采样水体 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 浓度与 EHP 检出率的关系

3.3. 天然水体中 COD 与对虾 EHP 检出率的关系

如图 3 所示，A、B 池塘水体 COD 浓度与 EHP 检出率趋势呈正相关，即 EHP 检出率随着 COD 浓度的升高而升高，随着 COD 浓度的降低而降低。C、D 池塘水体 COD 浓度介于 11~22 mg/L，波动较小，EHP 检出率从 0%~80%，波动较大，呈现出的水体 COD 浓度与 EHP 检出率相关性不明显，但也呈现出微弱的相关性，其中 C 池塘水体 COD 浓度从 13.5 ± 1.05 mg/L 下降到 12.5 ± 0.5 mg/L 时，EHP 检出率也从 80% 下降至 0%，当 COD 浓度升高至 17.97 ± 0.34 mg/L 时，EHP 检出率又升高至 50%，D 池塘也同样出现当 COD 浓度呈现微弱降低时，EHP 检出率迅速下降的情况。E 池塘同 A、B 池塘相同，都也呈现了水体 COD 浓度与 EHP 检出率正相关的趋势。从检测数据(表 3)和趋势图(图 3)观察发现，除个别数值外，水体中 COD 浓度低于 18 mg/L 时，EHP 检出率普遍较低，基本介于 0%~30%之间，也可以观察到水体 COD 浓度与 EHP 检出率基本呈正相关性趋势，即 COD 浓度升高，EHP 检出率也随之升高，COD 浓度下降，EHP 检出率也呈现下降趋势。

Table 3. The chemical oxygen demand (COD) concentration and EHP detection rate in 5 sampling ponds
表 3. 5 个采样池塘化学需氧量(COD)浓度与 EHP 检出率

池塘编号	采样时间	COD (mg/L)	EHP 检出率
A 池塘	放苗初期(第一次采样)	19.2 ± 0.3	25%
	养殖中期(第二次采样)	31.7 ± 1.19	95%
	养殖中后期(第三次采样)	29.89 ± 0.19	90%
	养殖终末期(第四次采样)	20.26 ± 0.58	40%
B 池塘	第一次采样	26 ± 0.76	55%
	第二次采样	41.5 ± 0.99	100%
	第三次采样	32.2 ± 1.35	100%
	第四次采样	18.6 ± 0.8	5%
C 池塘	第一次采样	14.4 ± 0.61	80%
	第二次采样	13.5 ± 1.05	30%
	第三次采样	12.5 ± 0.5	0%
	第四次采样	17.97 ± 0.34	50%
D 池塘	第一次采样	22.27 ± 1.24	75%
	第二次采样	12.57 ± 1.00	0%
	第三次采样	18.23 ± 0.69	5%
	第四次采样	17.9 ± 1.49	55%
E 池塘	第一次采样	25 ± 1.2	50%
	第二次采样	16.4 ± 0.99	0%
	第三次采样	29 ± 1.25	50%
	第四次采样	27 ± 1.08	0%



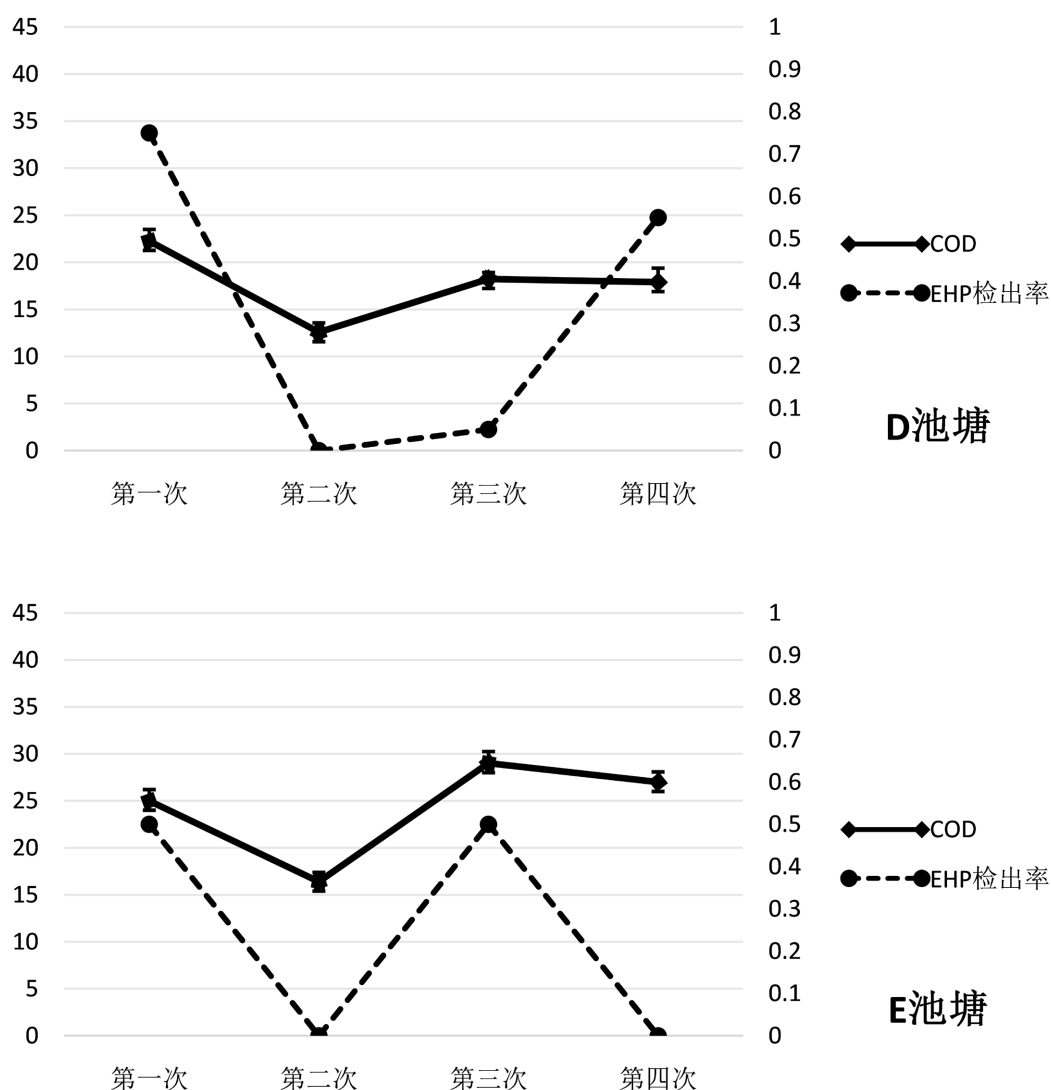


Figure 3. The relationship between COD concentration in water and EHP detection rate from four samplings in five ponds
图 3. 5个池塘四次采样水体 COD 浓度与 EHP 检出率的关系

4. 讨论与分析

通过初步统计分析我们认为池塘水体中 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 、 NO_2^- -N 和 COD 的浓度与对虾 EHP 检出率的关系整体趋势呈正相关性, 该结论正好与徐盛威等人[4][5]研究发表的结论相反, 讨论其原因我们认为, 徐等人的实验结论是通过人工感染对虾后, 高浓度 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 、 NO_2^- -N 胁迫条件下得到的数据, 其实验水体小, 环境条件单一, 与自然水体中复杂的浮游动植物和微生物等种群结构, 水体内部各种离子的强大缓冲能力截然不同, 得到的实验数据可能也会不同甚至相反。因此, 该研究我们通过流调普查工作筛选出典型 EHP 病原检测阳性的池塘作为研究对象, 采集定期采集水样和虾样进行监测和数据分析, 得到的数据更加贴合生产实际, 更具指导意义。

养殖水体中, 氨氮作为重要的水质因子之一, 主要以 NH_3 和 NH_4^+ 二种形式存在, 其中 NH_3 对水生动物体的损伤最严重, NH_3 不带电荷可以穿透水生动物体表进入体内, 破坏水生动物体的生理机能, 对组织器

官造成损伤,引发甲壳动物急性中毒症状,对水生动物的健康生长有着重要的影响[12]。肝胰腺作为重要的新陈代谢和解毒器官,是对虾在氨氮胁迫下表现最敏感的器官[13]。研究表明,氨氮胁迫会降低虾类的免疫力,增加被病原体的感染率。同样, NO_2^- -N 作为一种常见的含氮毒性物质,也是重要的水质因子之一,主要以 NO_2^- 的形式存在,慢性亚硝酸盐氮中毒的中国对虾的肝胰腺、胃、中肠和鳃均出现不同程度的病理变化[14]。COD 是以化学方法测量水样中需要被氧化的还原性物质的量,也就是说 COD 是衡量水体污染程度的重要指标, COD 值越大证明水体污染程度越高。部分文献认为水体中 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 、 NO_2^- -N 浓度越高时可以抑制 EHP 在对虾体内的增殖,促进对虾生长,很难应用到实际对虾养殖生产中,本身高浓度有毒物质会破坏对虾免疫系统,降低对虾摄食率,更增加了患病风险,不利于对虾生长。而本研究得到的实验结论为当水体中 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度高于 5 mg/L 时, EHP 检出率均高于 80%, NO_2^- -N 浓度高于 0.1 mg/L 时, EHP 检出率均高于 70%, COD 浓度超过 20 mg/L 时, EHP 检出率遍高于 65%, 3 个指标均检测结果均表明较高浓度胁迫下均会引起对虾 EHP 体内的增殖,同时通过监测数据总结各指标经验值,我们认为当 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度 < 1 mg/L, NO_2^- -N 浓度 < 0.01 mg/L, COD 浓度 < 18 mg/L 时,能够调节控制对虾 EHP 体内增殖,降低该病在同群中的传播感染速率。

5. 结论

本文通过天然养殖水体各因子与 EHP 检出率线性关系的分析得到的水质调控经验值结果,认为当水体中 $\text{NH}_3^+\text{NH}_4^+$ 浓度 < 1 mg/L, NO_2^- -N 浓度 < 0.01 mg/L, COD 浓度 < 18 mg/L, DO > 8 mg/L 时,可降低同群间 EHP 的传播感染概率。

基金项目

天津市农业发展服务中心种业青年科技创新项目“凡纳滨对虾‘海茂 1 号’的引进与病毒病防控技术的研究与应用”(项目编号: zxkj2025107)。

参考文献

- [1] Tang, K.F.J., Pantoja, C.R., Redman, R.M., Han, J.E., Tran, L.H. and Lightner, D.V. (2015) Development of *in Situ* Hybridization and PCR Assays for the Detection of *Enterocytozoon hepatopenaei* (EHP), a Microsporidian Parasite Infecting Penaeid Shrimp. *Journal of Invertebrate Pathology*, **130**, 37-41. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.06.009>
- [2] Phelps, N.B.D. and Goodwin, A.E. (2007) Validation of a Quantitative PCR Diagnostic Method for Detection of the Microsporidian *Ovipleistophora ovariae* in the Cyprinid Fish *Notemigonus crysoleucas*. *Diseases of Aquatic Organisms*, **76**, 215-221. <https://doi.org/10.3354/dao076215>
- [3] 吴兴泰. 南美白对虾微孢子虫病的防治方法[J]. 海洋与渔业, 2010(6): 41-42.
- [4] 徐盛威, 杨程, 斯烈钢, 等. 氨氮胁迫对凡纳滨对虾的生长状况及虾肝肠胞虫(EHP)携带量的影响[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(7): 109-112.
- [5] 徐盛威, 杨程, 斯烈钢, 等. 亚硝酸盐对携带虾肝肠胞虫的凡纳滨对虾的影响分析[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2019, 18(5): 510-528.
- [6] 段健诚, 胡吉卉, 穆金鑫, 等. 不同环境因素对虾肝肠胞虫感染脊尾白虾的影响研究[J]. 水产科学, 2023, 42(2): 296-301.
- [7] 胡吉卉, 段健诚, 高阳, 等. 亚硝态氮对虾肝肠胞虫感染脊尾白虾的影响[J]. 水产科学, 2022, 41(4): 664-669.
- [8] 环境保护部. HJ 537-2009 水质氨氮的测定纳氏试剂分光光度法[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010.
- [9] 国家环境保护局. GB/T 7493-1987 水质亚硝酸盐氮的测定分光光度法[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.
- [10] 环境保护部. HJ924-2017 COD 光度法快速测定仪技术要求及检测方法[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2017.
- [11] 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.
- [12] 陈劲松, 周发林, 江世贵, 等. 斑节对虾谷氨酰胺合成酶基因的克隆及氨氮胁迫对其时空表达的影响[J]. 上海海

洋大学学报, 2016, 25(4): 497-507.

- [13] 付监贵, 张磊磊, 徐乐, 等. pH 对日本沼虾存活及肝功能相关酶活性的影响[J]. 淡水渔业, 2016, 46(5): 100-104.
- [14] 王战蔚, 张译丹, 李秀颖, 等. 池塘中氨氮、亚硝酸盐的危害及控制措施[J]. 吉林水利, 2013(3): 39-40.