

日本沼虾幼虾对碱度和 pH 的适应性

杨富亿^① 李秀军^① 杨欣乔^②

(^①中国科学院东北地理与农业生态研究所 长春 130012;

^②吉林省水产技术推广总站 长春 130012)

摘要:采用急性毒性实验法,研究日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)对碱度和 pH 的适应能力,探讨内陆盐碱水域养殖的可能性。结果表明,pH 对幼虾的 24、48、72、96 h 半数致死值分别为 10.13、9.72、9.67 和 9.51,安全与适应范围分别为 5.26~8.67、5.10~8.84。碱度对幼虾的 24 h 半数有效浓度为 17.96 mmol/L,95% 置信限 14.60~22.53 mmol/L,24、48、96 h 半数致死浓度分别为 48.95、45.15 和 44.96 mmol/L,95% 置信限分别为 45.72~50.60、39.46~51.67 及 34.34~55.38 mmol/L,安全碱度 11.52 mmol/L。结果表明,在 pH ≤9.0、碱度 ≤20.0 mmol/L 的内陆盐碱水域,可以养殖日本沼虾。

关键词:日本沼虾;幼虾;pH;碱度;适应性

中图分类号:S966,S945 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2005)06-74-06

Adaptability of *Macrobrachium nipponense* Juvenile to Water Alkalinity and pH

YANG Fu-Yi^① LI Xiu-Jun^① YANG Xin-Qiao^②

(^①Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012;

^②Head Fisheries Station of Jilin Province, Changchun 130012, China)

Abstract: Acute toxicity of pH and alkalinity to freshwater shrimp *Macrobrachium nipponense* juveniles was determined in indoor by one-way toxicity test. The results showed that the median lethal pH (LpH_{50}) for 24, 48, 72 and 96 hours to juvenile shrimp were 10.13, 9.72, 9.67 and 9.51, respectively. The safe pH was from 5.26 to 8.67, and pH adapted was from 5.10 to 8.84. The median effect concentration (EC_{50}) with 95% confidence intervals for 24 hours of alkalinity to juvenile shrimp was 17.96 (from 14.60 to 22.53) mmol/L. The median lethal concentration (LC_{50}) with 95% confidence intervals for 24, 48 and 96 hours of alkalinity to juvenile shrimp were 48.95 (from 45.72 to 50.60), 45.15 (from 39.46 to 51.67) and 44.96 (from 34.34 to 55.38) mmol/L respectively. The safe concentration (SC) of alkalinity to juvenile shrimp was 11.52 mmol/L. Freshwater shrimp *M. nipponense* can be cultivated in inland saline-alkali waters with pH of 9.0 and under alkalinity of 20.0 mmol/L and under.

Key words: *Macrobrachium nipponense*; Juvenile shrimp; pH; Alkalinity; Adaptability

日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*),又称淡水青虾、河虾,广泛分布于内陆渔业水域^[1-3],在水产品产量中占有重要地位,是主要淡水养殖虾类^[4,5]。以往对其养殖技术^[6-10]、组织胚胎学^[11-14]、遗传与发育^[15,16]、行为生态学^[17,18]等进行了广泛研究,探讨了温度、pH、含盐量、Ca²⁺、Cu²⁺等水环境因子对其代谢生理^[19-22]、繁殖生

物学^[23-27]等的影响。

碱度和 pH 是养殖水环境较重要的水化学指标,也是水生动物移入内陆盐碱水域的主要

基金项目:吉林省科技发展计划项目(No. 20020227-2);

第一作者介绍:杨富亿,男,副研究员;从事湿地生态学研究;

E-mail: yangfuyi@neigae.ac.cn

收稿日期:2004-12-13;修回日期:2005-08-10

障碍因子,了解日本沼虾对它们的适应能力,是盐碱水域养殖的首要条件。但尚未见相关报道。鉴于此,本文通过单因子急性中毒实验,探讨其幼虾对两种环境因子的适应能力。

1 材料与方法

1.1 实验材料 所用幼虾捕自松嫩平原的月亮湖,体长(2.92 ± 0.74) cm,体质量(1.17 ± 0.32) g。以澄清的湖水为实验基础水,主要离子浓度:Ca²⁺ 22.5 mg/L, Mg²⁺ 10.6 mg/L, Na⁺ + K⁺ 64.6 mg/L, Cl⁻ 12.3 mg/L, SO₄²⁻ 21.4 mg/L, CO₃²⁻ 0.00 mg/L, HCO₃⁻ 251.8 mg/L, 含盐量 364.8

mg/L, 碱度 4.13 mmol/L, pH 7.67。以基础水添加酸、碱溶液配制实验水。所用容器为 12 L 的塑料盆,盛实验水 8 L。幼虾在基础水环境中适应 24 h 后再用于实验。

1.2 实验设计与方法

1.2.1 pH 预备实验 以公差 1.0 pH 单位,在 3.0 ~ 12.0 之间设 10 个 pH 梯度。采用基础水添加 1.0 mol/L 的 HCl 和 NaOH 配制实验水。其中 3.0 ~ 7.0 梯度用 HCl 调节, 8.0 ~ 12.0 用 NaOH 调节。每组投放幼虾 5 尾,观察 24 h 死亡率(表 1)。

表 1 pH 毒性预备实验

| 项目 | pH | | | | | | | | | |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 10.0 | 11.0 | 12.0 |
| 24 h 死亡数(尾) | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 24 h 死亡率(%) | 100 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 40 | 100 | 100 |

1.2.2 pH 正式实验 对预备实验中相关梯度缩小间距,设计正式实验的 pH 梯度为 3.5 ~ 11.0。实验水的 pH 用 1.0 mol/L 的 HCl、NaHCO₃、Na₂CO₃ 和 NaOH 调整。为模拟天然盐碱水的阴离子组成,5.5 及其以下 pH 梯度用 HCl 调节;6.0 ~ 8.5 用 1:5 (mol 比,下同)的 Na₂CO₃ 和 NaHCO₃ 调节;9.0 和 9.5 两组用 5:1 的 Na₂CO₃ 和 NaHCO₃ 调节;10.0 及其以上用 1:1 的 Na₂CO₃ 和 NaOH 校正。实验中每隔 12 h 监测一次并随时调整,保持 24 h 变化幅度 < 0.2 pH 单位。

1.2.3 碱度实验 以“Karber 法”^[28]设置等对数间距梯度。实验水配制,是在 5 L 基础水中加入碱度为 77.56 mmol/L 的天然盐碱水,加入量(L)按公式 $V = (\text{碱度梯度} - 4.13) / (15.512 - 0.2 \times \text{碱度梯度})$ 计算(推导从略)。实测后再用上述 Na₂CO₃ 和 NaHCO₃ 校正,配制碱度与实测碱度之差 ≤ ± 5% 视为合格。

实验在室内自然光下进行。期间不投喂饲料,连续充气。pH 实验不换水,投放幼虾 15 尾,碱度实验每隔 12 h 更换 1/2 水量,投放幼虾 10 尾。均以原湖水设 1 个对照组。每个梯度

重复 2 次,结果取平均值。以幼虾 24、48、72、96 h 死亡率作分析,碱度的有效浓度实验只计算 24 h 阳性反应率。失去游泳能力、附肢还能活动的幼虾视为阳性反应,附肢不能活动、对解剖针的刺激毫无反应的幼虾视为死亡^[28]。实验水温(21.4 ± 1.6) °C,溶解氧(7.35 ± 1.49) mg/L。

1.3 评价指标与计算 采用 24、48、72、96 h 幼虾不同死亡率时的致死 pH(LpH),评价幼虾对 pH 的适应能力,并通过“算术比例法”^[29]计算。分别以幼虾 24 h 呈不同阳性反应率时的有效浓度(EC)和 24、48、96 h 不同死亡率时的致死浓度(LC),来评价幼虾对碱度的适应能力。死亡率或阳性反应率均采用 0%、10%、50%、90% 及 100%。EC₀、EC₁₀₀、LC₀ 及 LC₁₀₀ 均以上述“算术比例法”计算,采用“移动平均角法”^[30]计算 EC₅₀、LC₅₀ 及其 95% 置信限,通过“机率单位回归法”^[31]计算 EC₁₀、EC₉₀、LC₁₀ 及 LC₉₀。幼虾实际适应的碱度即安全浓度(SC)的计算公式: $SC = 0.3 \times 48 \text{ h } LC_{50} / (24 \text{ h } LC_{50} / 48 \text{ h } LC_{50})^{[32]}$ 。

实验中 pH 采用 PHB-4 型酸度计监测。Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺ + K⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 质量浓度均采用“容量法”^[32]测定。以 CO₃²⁻ +

HCO_3^- 总浓度作为碱度。

2 结果与讨论

2.1 日本沼虾对碱度和 pH 的适应能力 随着 pH 的升高,幼虾死亡率先是下降,然后又增加,表明 pH 对幼虾的急性毒性呈双向剂量效应(表 2)。按照幼虾 96 h 死亡率大于 50%,把 $\text{pH} \leq 4.1$ 或 ≥ 9.5 分别划分为酸性和碱性范围,并将酸性至碱性范围的 96 h LpH_0 、96 h LpH_{10} 值分别作为安全、适应范围,对照我国淡水渔业水质标准 TJ35-89 和 GB11607-89 所规定的 pH 指标 6.5~8.5^[32],可知幼虾生存的安全

范围(5.26~8.67)和适应范围(5.10~8.84)都符合本标准,只是下限偏低,而上限则略高。天然盐碱水的 pH 都大于 8.5,所以本实验碱性范围的结果更具实际意义。

虽然水生动物的生存与生长需要一定的碱度,但过高反而致毒。本实验表明,碱度对幼虾的急性毒性为单向剂量效应(表 3A)。根据 24 h EC_0 值和 SC 值,幼虾实际适应的碱度可确定为 ≤ 10 mmol/L。渔业水质标准都没有规定碱度指标,但一般认为 1.0~3.5 mmol/L 对水生动物生长比较适宜^[32,33]。这对日本沼虾也同样适用。

表 2 不同 pH 下日本沼虾幼虾的死亡率和致死值

| pH | 24 h | | 48 h | | 72 h | | 96 h | |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 平均死亡数 (尾) | 平均死亡率 (%) | 平均死亡数 (尾) | 平均死亡率 (%) | 平均死亡数 (尾) | 平均死亡率 (%) | 平均死亡数 (尾) | 平均死亡率 (%) |
| 3.5 | 15 | 100 | - | - | - | - | - | - |
| 3.7 | 15 | 100 | - | - | - | - | - | - |
| 3.9 | 8 | 53.33 | 11 | 73.33 | 12 | 80.00 | 13 | 86.67 |
| 4.1 | 4 | 26.67 | 7 | 46.67 | 8 | 53.33 | 12 | 73.33 |
| 4.3 | 0 | 0 | 0.5 | 3.33 | 3.5 | 23.33 | 6 | 40.00 |
| 5.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6.67 | 2.5 | 16.67 |
| 6.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9.0 | 0 | 0 | 1.5 | 10.00 | 2.5 | 16.67 | 3 | 20.00 |
| 9.5 | 1.5 | 10.00 | 3 | 20.00 | 6 | 40.00 | 9.5 | 63.33 |
| 10.0 | 5 | 33.33 | 8 | 53.33 | 10 | 66.67 | 12 | 80.00 |
| 10.5 | 11 | 73.33 | 14 | 93.33 | 15 | 100 | | |
| 11.0 | 15 | 100 | - | - | - | - | - | - |
| 7.6(对照) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| LpH_0 | 4.30/9.34* | | 4.32/8.82 | | 5.10/8.67 | | 5.26/8.67 | |
| LpH_{10} | 4.23/9.50 | | 4.26/9.00 | | 4.95/8.87 | | 5.10/8.84 | |
| LpH_{50} | 3.93/10.13 | | 3.95/9.72 | | 4.35/9.67 | | 4.48/9.51 | |
| LpH_{90} | 3.63/10.76 | | 3.81/10.44 | | 3.75/10.47 | | 3.85/10.17 | |
| LpH_{100} | 3.55/10.92 | | 3.75/10.62 | | 3.60/10.67 | | 3.69/10.34 | |

* 在 4.30/9.34 中 4.30 为酸性范围值,9.34 为碱性范围值。其余皆同。

2.2 幼虾致死因素 日本沼虾等甲壳动物都是蜕皮生长的,而且蜕皮与正常生长所需要的水环境条件也不尽相同;有时环境条件适宜生存,但不能蜕皮,因而也就没有生长,甚至还会致畸和死亡^[34]。同时,生长中的幼虾在蜕皮期间的不同发育阶段,其机体生理、生化过程变化也很大,这种生长阶段的不一致性必然造成个

体间的生长、代谢方面的差异,个体间能否蜕皮以及蜕皮的先后也不能完全反映水环境对它们的适宜程度^[20~22,34,35]。因此,本实验幼虾的死亡可能有两方面原因:一是水环境因子不适宜生存而直接中毒死亡;二是水环境适宜生存但不适合蜕皮而间接致死。实验用幼虾都具有完整的钙化新壳,水温、含盐量及溶解氧等主要

表 3 碱度对日本沼虾毒性作用的有效浓度

| 实验水 | | | 平均阳性 | | 24 h 有效浓度(mmol/L) | | | | | |
|----------------|---------|------|-------------|------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 碱度 (mmol/L) | 浓度对数 | pH | 盐度 (g/L) | 反应数 (尾) | 反应率 (%) | EC ₀ | EC ₁₀ | EC ₅₀ | EC ₉₀ | EC ₁₀₀ |
| 8.99 | 0.953 8 | 7.70 | 0.78 | 0 | 0 | | | | | |
| 10.46 | 1.019 5 | 7.71 | 0.90 | 1 | 10 | | | | | |
| 12.18 | 1.085 6 | 7.72 | 1.05 | 1.5 | 15 | | | | | |
| 14.18 | 1.151 7 | 7.73 | 1.21 | 2 | 20 | 7.98 | 10.96 | 17.96 | 29.42 | 32.79 |
| 16.51 | 1.217 7 | 7.75 | 1.41 | 4.5 | 45 | | | | | |
| 19.22 | 1.283 8 | 7.77 | 1.64 | 5.5 | 55 | | | | | |
| 22.37 | 1.349 7 | 7.79 | 1.91 | 7.5 | 75 | | | | | |
| 26.04 | 1.415 6 | 7.82 | 2.22 | 8.5 | 85 | | | | | |
| 30.31 | 1.481 6 | 7.86 | 2.58 | 9 | 90 | | | | | |
| 35.28 | 1.547 5 | 7.91 | 3.06 | 10 | 100 | | | | | |
| 4.13(对照) | 0.616 0 | 7.67 | 0.36 | 0 | 0 | | | | | |

机率单位回归方程 $Y = -2.489 + 5.971X$ ($r^2 = 0.985$, $df = 6$), 式中, Y 为阳性反应率的机率值, X 为浓度对数。EC₅₀ 95% 置信限 14.60 ~ 22.53。

表 4 碱度对日本沼虾毒性作用的致死浓度

| 实验水 | | | 24 h | | 48 h | | 96 h | | |
|----------------|---------|---------------------------|-------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|
| 碱度 (mmol/L) | 浓度对数 | pH | 盐度 (g/L) | 平均死亡 数(尾) | 平均死亡 率(%) | 平均死亡 数(尾) | 平均死亡 率(%) | 平均死亡 数(尾) | 平均死亡 率(%) |
| 35.28 | 1.547 5 | 7.91 | 3.06 | 0 | 0 | 0.5 | 5 | 1.5 | 15 |
| 37.86 | 1.578 2 | 7.93 | 3.22 | 0.5 | 5 | 1 | 10 | 2.5 | 25 |
| 40.62 | 1.608 7 | 7.96 | 3.45 | 2 | 20 | 2.5 | 25 | 3 | 30 |
| 43.59 | 1.639 4 | 8.00 | 3.70 | 3.5 | 35 | 4.5 | 45 | 4.5 | 45 |
| 46.77 | 1.670 0 | 8.04 | 3.97 | 4 | 40 | 5.5 | 55 | 5.5 | 55 |
| 50.18 | 1.700 5 | 8.09 | 4.26 | 6.5 | 65 | 7.5 | 75 | 7.5 | 75 |
| 53.84 | 1.731 1 | 8.15 | 4.57 | 7.5 | 75 | 8.5 | 85 | 8.5 | 85 |
| 57.77 | 1.761 7 | 8.23 | 4.90 | 8.5 | 85 | 9.5 | 95 | 10 | 100 |
| 61.99 | 1.792 3 | 8.33 | 5.26 | 10 | 100 | - | - | - | - |
| 4.13(对照) | 0.616 0 | 7.67 | 0.36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | LC ₀ | | 36.61 | | 34.03 | | 31.30 | |
| | | LC ₁₀ | | 38.72 | | 37.32 | | 33.99 | |
| 致死浓度(mmol/L) | | LC ₅₀ (95%置信限) | | 48.95(45.72 ~ 50.60) | | 45.15(39.46 ~ 51.67) | | 44.96(34.34 ~ 55.38) | |
| | | LC ₉₀ | | 59.30 | | 55.12 | | 57.62 | |
| | | LC ₁₀₀ | | 61.50 | | 59.02 | | 57.81 | |
| 安全浓度(mmol/L) | | SC | | | | 11.52 | | | |

机率单位回归方程, 24 h $Y = -18.232 + 13.825X$ ($r^2 = 0.973$, $df = 5$); 48 h $Y = -20.037 + 15.113X$ ($r^2 = 0.995$, $df = 6$); 96 h $Y = -13.386 + 11.170X$ ($r^2 = 0.983$, $df = 5$), 式中, Y 为死亡率的机率值, X 为浓度对数。

水环境因子也都适合幼虾生长与蜕皮^[34, 35], 但实验结束, 对照组幼虾无一呈阳性反应或死亡, 也无一蜕皮, 而且仍在正常活动。这表明幼虾都是处于蜕皮间期的个体, 96 h 的实验可能尚未达到下次蜕皮期, 同时也说明幼虾的死亡很可能是 pH 和碱度直接致毒。所以幼虾死亡应

属生长阶段的死亡, 而且也不是无法蜕皮所致。另外, 死亡幼虾体色灰白或粉白, 有些个体头胸甲、触角、步足、尾节卷曲、变软或有残缺, 鳃组织溃烂。这些特征显然都是酸、碱腐蚀所致。

甲壳动物的蜕皮生长与水环境 Ca^{2+} 浓度关系密切^[34, 35]。据文献^[22], 体质量为(1.380 ±

0.185)g 的日本沼虾在 pH 6.8 ~ 8.5、Ca²⁺ 浓度 38.8 ~ 78.8 mg/L 的水环境, 18 d 内都蜕皮 1 ~ 2 次, 同样在适宜 pH 下, 体长为 3.6 ~ 5.5 cm 的淡化中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 在 Ca²⁺ 浓度 17.3 ~ 172.5 mg/L 的水环境, 8 d 内绝大多数个体也都蜕皮 1 次^[36]。相比之下, 本实验幼虾原来生活的月亮湖水的 Ca²⁺ 浓度 22.5 mg/L, 毒性实验水体 Ca²⁺ 浓度分别在 14.7 ~ 20.4 mg/L 及 22.7 ~ 24.5 mg/L, 都能满足幼虾蜕皮需要。但在 6.5 ~ 8.5 的适宜 pH 下, 96 h 内无论对照组和实验组, 也均未发现蜕皮幼虾。这进一步证实幼虾的死亡并非不能蜕皮所致, 而是由 pH 和碱度直接致毒引起的。因此, 本实验结果能够反映生长中的日本沼虾幼虾对水环境 pH 和碱度的适应能力。

2.3 日本沼虾在盐碱水域养殖的可能性 调查表明^[37, 38], 日本沼虾在东北松嫩平原盐碱水域自然生存的最高碱度为 18.52 mmol/L, 对应的 pH 8.72; 生存的最高 pH 8.87, 对应碱度 16.47 mmol/L。pH 与本实验的安全范围和适应范围上限基本一致, 碱度则接近 24 h EC₅₀ 值而明显高于 SC 值 (43% ~ 61%)。根据自然生存水域 pH、碱度和本实验结果, 认为在 pH ≤ 9.0、碱度 ≤ 20.0 mmol/L 的盐碱水域, 可以考虑日本沼虾的养殖。

参 考 文 献

- [1] 邓一德, 吴本寿, 张梅. 贵州省的淡水虾类. 动物学杂志, 1997, 32(1): 5 ~ 8.
- [2] 朱清顺, 苗玉霞. 江苏淡水虾类及其渔业. 动物学杂志, 1990, 25(3): 8 ~ 11.
- [3] 洪一江, 胡成钰, 官少飞. 鄱阳湖沼虾资源的初步调查. 水利渔业, 2003, 23(3): 38 ~ 39.
- [4] 彭琼英. 滇池虾类. 水利渔业, 2002, 22(2): 33 ~ 34.
- [5] 黄玉玲. 我国虾类淡水养殖概述. 水利渔业, 2003, 23(1): 1 ~ 3.
- [6] 陈文龙, 贺宝祥, 李建应等. 青虾浅水塘养殖技术. 淡水渔业, 1999, 29(10): 37 ~ 39.
- [7] 蔡永祥, 陆全平, 边文翼等. 不同水域青虾池塘养殖的对比试验. 水产养殖, 2003, 24(5): 5 ~ 6.
- [8] 宋春英. 河蟹、青虾池塘混养经验. 水产科技情报, 2002, 29(2): 79 ~ 80.
- [9] 刘革利. 青虾池塘养殖高产技术. 水产科学, 2004, 23(7): 33.
- [10] 田功太, 杨玲, 守理平. 青虾池塘养殖试验报告. 齐鲁渔业, 2002, 19(1): 6 ~ 7.
- [11] 廖家遗, 吴强. 日本沼虾脑神经元中微绒毛小管的观察. 动物学杂志, 2001, 36(5): 56 ~ 57.
- [12] 席貽龙, 邓道贵, 崔之学. 日本沼虾消化道形态和组织学特点. 动物学杂志, 1997, 32(3): 8 ~ 11.
- [13] 席貽龙, 余东胜. 日本沼虾主要动脉血管组织学的比较研究. 动物学杂志, 1997, 32(1): 3 ~ 5.
- [14] 席貽龙, 谈奇坤. 日本沼虾触角腺组织学的初步研究. 动物学杂志, 1995, 30(5): 1 ~ 2.
- [15] 廖家遗, 秦照萍. 雄性日本沼虾个体发育的研究. 动物学杂志, 1999, 34(6): 21 ~ 24.
- [16] 杨万喜. 日本沼虾体表寄生虫对胚胎附着的影响. 水产科学, 2001, 20(1): 5 ~ 7.
- [17] 杨万喜, 赖伟, 堵南山. 日本沼虾行为研究. 动物学杂志, 1997, 32(3): 51 ~ 54.
- [18] 万继波. 青虾的习性与养殖. 淡水渔业, 1995, 25(3): 28.
- [19] 王军霞, 王维娜, 王安利等. Cu²⁺ 对外培养的日本沼虾血细胞的影响. 动物学杂志, 2003, 38(3): 22 ~ 25.
- [20] 李义. 温度、pH 对日本沼虾血清酚氨化酶活力及稳定性的影响. 海洋科学, 2002, 26(10): 1 ~ 3.
- [21] 王维娜, 孙儒泳, 王安利等. 环境因子对日本沼虾消化酶和碱性磷酸酶的影响. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1153 ~ 1156.
- [22] 董双林, 堵南山, 赖伟. pH 值、Ca²⁺ 浓度对日本沼虾生长和能量收支的影响. 水产学报, 1994, 18(2): 118 ~ 123.
- [23] 谢文星, 谢山, 黄道明等. 温度对青虾幼体变态发育及培育率的影响. 淡水渔业, 1999, 29(7): 8 ~ 9.
- [24] 邹盛希, 李永吉, 吴文胜等. 温度对青虾胚胎幼体影响的初步观察. 内陆水产, 2002, 27(4): 15.
- [25] 邢克智, 王金华. 温度、盐度对青虾幼体生长发育的影响. 南开大学学报(自然科学版), 1997, 30(3): 88 ~ 93, 105.
- [26] 施正峰, 梅志平, 孙敬等. 水温对日本沼虾摄食的影响. 水产学报, 1991, 15(4): 338 ~ 343.
- [27] 董双林, 堵南山, 赖伟. 日本沼虾生理生态学研究 I. 温度和体重对其代谢的影响. 海洋与湖沼, 1994, 25(3): 233 ~ 236.
- [28] 邓欢, 刘亚杰. 吡啶酸(PPA)对中国对虾仔虾幼体的半致死量(LD₅₀)及半有效量(ED₅₀)试验研究. 水产科学, 1992, 11(4): 7 ~ 9.
- [29] 娄忠玉, 钱续. 福尔马林对银鲑鱼苗半致死浓度试验. 水利渔业, 2003, 23(1): 58.
- [30] 刘建康, 何碧梧. 中国淡水鱼类养殖学(第三版). 北京: 科学出版社, 1992, 741 ~ 748.

- [31] 吴志新 ,陈孝煊 . 红螯螯虾对盐度耐受性的研究 . 水利渔业 ,1997 (4) :20 ~ 21 .
- [32] 雷衍之 . 淡水养殖水化学 . 南宁 :广西科学技术出版社 , 1993 ,6 ~ 11 ,111 ~ 116 ,164 ~ 175 .
- [33] 陈佳荣 . 水化学 . 北京 :中国农业出版社 ,1996 ,66 ~ 71 .
- [34] 王克行 ,吴琴瑟 ,纪成林等 . 虾蟹类增养殖学 . 北京 :中国农业出版社 ,1997 ,27 ~ 33 ,251 ~ 256 .
- [35] 唐建清 ,滕忠祥 ,周继纲 . 淡水青虾规模养殖关键技术 . 南京 :江苏科学技术出版社 ,2002 ,6 ~ 58 .
- [36] 王慧 ,房文红 ,来琦芳 . 水环境中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对中国对虾生存及生长的影响 . 中国水产科学 ,2000 ,7(1) :82 ~ 86 .
- [37] 杨富亿 . 盐碱湿地及沼泽渔业利用 . 北京 :科学出版社 , 2000 ,20 ~ 45 ,216 ~ 247 ,479 ~ 546 .
- [38] 杨富亿 . 盐碱湿地青虾资源及其增养殖技术 . 资源开发与市场 ,2000 ,16(1) :14 ~ 16 .