

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20210407002

http://www.yykxjz.cn/

周建聪, 蔡利, 杨静茹, 林先鑫, 顾志峰, 石耀华, 刘春胜. 温度和氨氮对不同规格红螯螯虾耗氧率与排氮率的影响. 渔业科学进展, 2022, 43(3): 95-102

ZHOU J C, CAI L, YANG J R, LIN X X, GU Z F, SHI Y H, LIU C S. Effects of temperature and ammonia on oxygen consumption and ammonia excretion rates of *Cherax quadricarinatus* with different sizes. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(3): 95-102

# 温度和氨氮对不同规格红螯螯虾 耗氧率与排氮率的影响\*

周建聪<sup>1</sup> 蔡利<sup>1</sup> 杨静茹<sup>1</sup> 林先鑫<sup>1</sup>  
顾志峰<sup>1,2</sup> 石耀华<sup>1①</sup> 刘春胜<sup>1,2①</sup>

(1. 海南大学海洋学院 海南 海口 507228;

2. 海南大学南海海洋资源利用国家重点实验室 海南 海口 507228)

**摘要** 为了揭示温度和氨氮浓度对红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)耗氧率( $R_O$ )与排氮率( $R_N$ )的影响,采用单因素实验设计和密闭流水法分析了不同温度和氨氮浓度条件下,3种规格红螯螯虾(小规格为S组、中规格为M组和大规格为L组) $R_O$ 和 $R_N$ 的变化规律。结果显示,温度对红螯螯虾 $R_O$ 和 $R_N$ 影响显著( $P<0.05$ ),在温度为 $15^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 时, $R_O$ 随温度升高而增加, $35^{\circ}\text{C}$ 时,红螯螯虾的 $R_O$ 达到最大值;其中,S组的 $R_O$ 为 $0.777\text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ,显著大于其他2个组( $P<0.05$ )。红螯螯虾 $R_N$ 随温度升高呈先上升后下降的趋势, $30^{\circ}\text{C}$ 时达到最大值;其中,S组的 $R_N$ 为 $0.061\text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ,显著大于其他2个组( $P<0.05$ )。温度对红螯螯虾的氧氮比(O/N)值有显著影响( $P<0.05$ )。氨氮浓度对红螯螯虾的 $R_O$ 和 $R_N$ 影响显著( $P<0.05$ ),在氨氮浓度为 $0\sim 16\text{ mg}/\text{L}$ 时,二者均随氨氮浓度的上升呈先上升后下降的趋势;当氨氮浓度为 $8\text{ mg}/\text{L}$ 时,红螯螯虾的 $R_O$ 达到最大值,S、M和L组 $R_O$ 值分别为 $0.663$ 、 $0.332$ 和 $0.195\text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ;当氨氮浓度为 $12\text{ mg}/\text{L}$ 时, $R_N$ 达到最大值,S、M和L组 $R_N$ 值分别为 $0.123$ 、 $0.049$ 和 $0.034\text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ,且显著高于其他处理组( $P<0.05$ )。氨氮浓度对3种规格红螯螯虾的O/N值均有显著影响( $P<0.05$ )。不同温度条件下,红螯螯虾 $R_O$ 和 $R_N$ 的 $Q_{10}$ 变化范围分别为 $1.102\sim 3.361$ 和 $0.346\sim 3.417$ ,且分别在 $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 和 $30^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 时达到最小。

**关键词** 红螯螯虾; 温度; 氨氮; 耗氧率; 排氮率

中图分类号 S966 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2022)03-0095-08

呼吸排泄是水产动物新陈代谢的基本生理活动之一,亦是水产动物能量学研究的重要组成部分(栗志民等, 2010; 刘建勇等, 2019)。在各代谢参数中,氨氮

( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )与氧代谢水平是测量呼吸排泄的2个重要指标,可以有效地反映水产动物的代谢规律和生存状况(宋协法等, 2017; 刘春胜等, 2018)。

\* 国家重点研发计划项目(2018YFD0900704)和院士团队创新中心项目(HD-YSZX-202011)共同资助 [This work was supported by the National Key Research and Development Program of China (2018YFD0900704), and the Talent Development Program of Hainan Province (HD-YSZX-202011)]. 周建聪, E-mail: zhoujcgreat@163.com

① 通讯作者: 石耀华, 教授, E-mail: stone70@126.com; 刘春胜, 副教授, E-mail: lcs5113@163.com

收稿日期: 2021-04-07, 收修改稿日期: 2021-04-18

红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)俗称澳洲淡水龙虾,原产自澳大利亚,体型大,肉质鲜美,是经济价值较高的优良品种(Jones *et al*, 1994; 郑玉珍等, 2000; Vanzquez *et al*, 2007)。近年来,红螯螯虾养殖规模在我国广东、江苏和海南等南方各省逐年增加,年产量已达 3000 t (Yuan *et al*, 2019; 彭刚等, 2020)。在红螯螯虾养殖过程中,经常会出现温度变化以及过量投饵导致的养殖水体氨氮浓度变化等实际问题,严重影响红螯螯虾生产活动(Liane *et al*, 2011、2015)。Cui 等(1988)、闫茂仓等(2007)、李加儿等(2014)和王治平等(2021)研究表明,水产动物生长代谢不仅受自身因素如遗传、个体大小等的影响,还与水温、氨氮水平、盐度等外部环境因素密切相关。目前,国内外已有许多关于虾类[锦绣龙虾(*Panulirus ornatus*)、秀丽白虾(*Exopalaemon modestus*)和凡纳滨对虾(*Litopenaeus Vannamei*)]、贝类和鱼类等水生动物呼吸代谢相关的研究(宋协法等, 2009; 刘凯等, 2010; Giacomini *et al*, 2019; 罗嘉俊等, 2020)。而对于红螯螯虾的研究主要集中于繁育、养成和饲料方面(Liu *et al*, 2020; Lu *et al*, 2020; 徐文倩等, 2020),在呼吸排泄方面鲜有报道。本实验采用密闭流水法,研究温度和氨氮浓度对不同规格红螯螯虾耗氧率(Oxygen consumption rate,  $R_O$ )和排氨率(Ammonia removal rate,  $R_N$ )的影响,旨在分析红螯螯虾呼吸代谢的规律,为红螯螯虾的养殖技术改良提供数据参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

红螯螯虾取自海南省澄迈县四泰养殖场,选取健康无病害的个体,暂养于海南大学海洋学院实验室养殖系统内。暂养期间,每天早晚投饵2次,投饵后2 h 换水 1/2。养殖水体水温为(30.0±0.5)℃, pH 为 7.81±0.18,溶解氧(DO)为(7.09±0.28) mg/L。3种规格红螯螯虾体长和体重见表1。

表 1 红螯螯虾生物学数据

Tab.1 Biological characteristics of *C. quadricarinatus*

组别 Groups	体长 Body length/cm	体重 Body weight/g
小规格 S	4.361±0.151 <sup>a</sup>	1.912±0.152 <sup>a</sup>
中规格 M	8.510±0.223 <sup>b</sup>	13.853±1.251 <sup>b</sup>
大规格 L	14.623±0.591 <sup>c</sup>	62.354±6.282 <sup>c</sup>

注:不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different small letters indicated significant difference at 0.05 level

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 温度对不同规格红螯螯虾 $R_O$ 和 $R_N$ 的影响

设置 15℃、20℃、25℃、30℃和 35℃共 5 个温度梯度。实验初始水温为(30.0±0.5)℃。各温度组采用冰袋和加热棒调节红螯螯虾暂养水温,每 12 h 升降温度 1℃,达到设定水温,待红螯螯虾适应 2 d 后再进行  $R_O$  和  $R_N$  测定。实验前停食 24 h。

#### 1.2.2 氨氮浓度对不同规格红螯螯虾 $R_O$ 和 $R_N$ 的影响

氨氮浓度设置 0、4、8、12 和 16 mg/L 共 5 个水平,并通过在水中加入纯化  $NH_4Cl$  配制而成;每 12 h 升高 1 mg/L,达到设定氨氮浓度,红螯螯虾适应 2 d 后再进行实验。实验前停食 24 h。

### 1.3 $R_O$ 和 $R_N$ 的测定

本研究中, $R_O$ 采用 Loligo systems 水生生物呼吸仪测定。将待测红螯螯虾及相应水温/氨氮浓度的水体转移至密闭呼吸器中(内腔体积为 1.6 L);另设一组呼吸器作为对照组,其内部充满相同水温和氨氮浓度的淡水,不放置红螯螯虾。呼吸仪运行 1.5 h,期间水流速度为 5 L/min,自动实时检测水体 DO。实验开始时与结束后分别采集 50 mL 水体,用于氨氮浓度的测定。根据预实验结果,每个呼吸器分别放置小、中和大规格红螯螯虾为 5 只、2 只和 1 只。水体中氨氮浓度使用 DeChem-Tech(德国)全自动化学分析仪测定,方法参照国标法(GB7148-81)。

### 1.4 指标计算

$R_O$ 、 $R_N$ 、氧氮比(O/N)值和温度系数( $Q_{10}$ )计算公式:

$$R_O = [(DO_0 - DO_t) \times V] / (W \times t) \quad (1)$$

$$R_N = [(N_t - N_0) \times V] / (W \times t) \quad (2)$$

$$O/N = R_O / R_N \quad (3)$$

式中, $R_O$ 、 $R_N$ 分别为单位体重耗氧率和排氨率[mg/(g·h)], $DO_0$ 和  $DO_t$ 分别为实验开始和实验结束后水中的 DO 含量(mg/L), $V$ 为呼吸器中水的体积(L), $W$ 为红螯螯虾重量(g), $t$ 为实验持续时间(h), $N_0$ 和  $N_t$ 分别为实验开始和实验结束后水中总氨氮浓度(mg/L)。

温度系数公式:

$$Q_{10} = (R_2 / R_1)^{10 / (T_2 - T_1)} \quad (4)$$

式中, $R_1$ 和  $R_2$ 分别为实验温度  $T_1$ 和  $T_2$ 时红螯螯虾的  $R_O$ 或  $R_N$ [mg/(g·h)]。

### 1.5 数据分析

实验数据采用平均值±标准差(Mean±SD)表示,采用 SPSS 23.0 软件进行单因素方差(one-way ANOVA)分析, $P<0.05$ 为显著差异。

## 2 结果

### 2.1 温度对不同规格红螯螯虾 $R_O$ 、 $R_N$ 和 O:N 值的影响

从表2可以看出, 温度对不同规格红螯螯虾  $R_O$  影响显著( $P < 0.05$ )。在温度为 15℃~35℃时, 随着温度的增加, 红螯螯虾各组  $R_O$  均呈上升的趋势, 且在 35℃时达到最高。在相同温度时, S 组红螯螯虾  $R_O$  显著高于 M 和 L 组( $P < 0.05$ )。温度对不同规格红螯螯虾  $R_N$  亦有显著影响( $P < 0.05$ ), 均随温度增加呈先上升后下降的趋势。在温度为 30℃时, 3 种规格红螯螯虾

$R_N$  均达到最高值, S、M 和 L 组红螯螯虾的  $R_N$  分别为 0.061、0.034 和 0.018 mg/(g·h), 且各组相比差异显著( $P < 0.05$ )。

温度对不同规格红螯螯虾 O:N 值的影响见表 3。从表 3 可以看出, 在温度为 15℃~35℃条件下, 红螯螯虾的 O:N 值为 8.636~20.899。同一规格红螯螯虾在不同温度时, O:N 值呈先下降后升高的趋势, 且各温度条件下, O:N 值存在显著性差异( $P < 0.05$ )。在温度为 20℃时, L 组红螯螯虾 O:N 值最高, 为 20.830, 显著高于其他 2 个组( $P < 0.05$ ), 其他温度不同规格红螯螯虾 O:N 值相比均无显著差异( $P > 0.05$ )。

表 2 温度对不同规格红螯螯虾  $R_O$  和  $R_N$  的影响

Tab.2 Effects of temperature on the oxygen consumption and ammonia excretion rates in *C. quadricarinatus*

温度 Temperature/°C	耗氧率 Oxygen consumption rate/[mg/(g·h)]			排氨率 Ammonia excretion rate/[mg/(g·h)]		
	小规格 S	中规格 M	大规格 L	小规格 S	中规格 M	大规格 L
15	0.329±0.059 <sup>Ab</sup>	0.136±0.020 <sup>Bd</sup>	0.084±0.020 <sup>Bc</sup>	0.018±0.002 <sup>Ac</sup>	0.010±0.001 <sup>Bc</sup>	0.005±0.001 <sup>Cc</sup>
20	0.386±0.010 <sup>Ab</sup>	0.197±0.012 <sup>Bcd</sup>	0.153±0.010 <sup>Cb</sup>	0.027±0.002 <sup>Abc</sup>	0.018±0.002 <sup>Bb</sup>	0.007±0.001 <sup>Cc</sup>
25	0.500±0.063 <sup>Ab</sup>	0.275±0.010 <sup>Bbc</sup>	0.163±0.019 <sup>Cb</sup>	0.033±0.006 <sup>Abc</sup>	0.024±0.005 <sup>Ab</sup>	0.011±0.002 <sup>Bb</sup>
30	0.525±0.060 <sup>Ab</sup>	0.314±0.009 <sup>Bb</sup>	0.173±0.021 <sup>Cb</sup>	0.061±0.005 <sup>Aa</sup>	0.034±0.003 <sup>Ba</sup>	0.018±0.002 <sup>Ca</sup>
35	0.777±0.150 <sup>Aa</sup>	0.420±0.060 <sup>Ba</sup>	0.286±0.045 <sup>Ba</sup>	0.041±0.013 <sup>Ab</sup>	0.020±0.002 <sup>Bb</sup>	0.016±0.002 <sup>Ba</sup>

注: 不同大写字母表示同温度组  $R_O$ ( $R_N$ ) 差异显著( $P < 0.05$ ); 不同小写字母上标表示同规格组差异显著( $P < 0.05$ ), 下同

Note: Different capital letters in the same row indicated significant difference at 0.05 level at the same temperature; different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level at the same size, the same as below

表 3 不同规格红螯螯虾在不同温度下的氧氮比

Tab.3 O/N ratios of different size *C. quadricarinatus* under different temperature levels

温度 Temperature/°C	小规格 S	中规格 M	大规格 L
15	18.432±2.448 <sup>Aa</sup>	14.164±1.217 <sup>Ab</sup>	16.832±1.888 <sup>Aab</sup>
20	14.155±1.217 <sup>Bab</sup>	10.733±1.440 <sup>Bb</sup>	20.830±2.254 <sup>Aa</sup>
25	15.822±4.454 <sup>Aab</sup>	11.948±1.737 <sup>Ab</sup>	14.252±1.233 <sup>Abc</sup>
30	8.636±1.300 <sup>Ab</sup>	9.359±0.912 <sup>Ab</sup>	9.442±0.485 <sup>Ac</sup>
35	19.477±4.890 <sup>Aa</sup>	20.899±4.121 <sup>Aa</sup>	18.846±3.702 <sup>Aab</sup>

### 2.2 氨氮浓度对不同规格红螯螯虾 $R_O$ 、 $R_N$ 和 O:N 值的影响

从表 4 可以看出, 氨氮浓度对不同规格红螯螯虾  $R_O$  影响显著( $P < 0.05$ )。在氨氮浓度为 0~16 mg/L 时, 随着氨氮浓度的上升, 各组均呈先上升后下降的趋势, 且在氨氮浓度为 8 mg/L 达到最高。在相同氨氮浓度条件下, S 组红螯螯虾  $R_O$  显著高于与 M 和 L 组( $P < 0.05$ )。氨氮浓度对不同规格红螯螯虾  $R_N$  亦有显著影响( $P < 0.05$ ), 均随氨氮浓度的升高呈先上升后下降的趋势。在氨氮浓度为 12 mg/L 时, 3 种规格红螯螯虾  $R_N$  均达到最高值。在该氨氮浓度条件下, S、M 和 L 组红螯螯虾的  $R_N$  分别为 0.123、0.049 和 0.034 mg/g·h, 且各规格间相比差异显著( $P < 0.05$ )。

氨氮浓度对不同规格红螯螯虾 O:N 值的影响见

表 5。从表 5 可以看出, 在氨氮浓度为 0~16 mg/L 时, 红螯螯虾的 O:N 值为 3.729~9.442。同一规格红螯螯虾在不同氨氮浓度条件下, O:N 值呈先下降后升高的趋势, 且各组相比差异显著( $P < 0.05$ )。在氨氮浓度为 0~8 mg/L 时, 不同规格红螯螯虾 O:N 值相比无显著差异( $P > 0.05$ ), 其他浓度组相比差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.3 温度对不同规格红螯螯虾 $Q_{10}$ 值的影响

从表 6 可以看出, 在实验温度为 15℃~35℃时, 红螯螯虾  $R_O$  的  $Q_{10}$  值为 1.102~3.361, 平均为 1.820。S 组红螯螯虾  $R_O$  的  $Q_{10}$  值呈先上升后下降的趋势, M 和 L 组均呈先下降后上升的趋势。红螯螯虾  $R_N$  的  $Q_{10}$  值为 0.346~3.417, 平均值为 1.819。3 种规格  $R_N$  的  $Q_{10}$  值在 30℃~35℃时均达到最低。

表4 氨氮浓度对不同规格红螯螯虾  $R_O$  和  $R_N$  的影响Tab.4 Effect of ammonia on the oxygen consumption and ammonia excretion rates in *C. quadricarinatus*

氨氮浓度 Ammonia concentration/(mg/L)	耗氧率 Oxygen consumption rate/[mg/(g·h)]			排氨率 Ammonia excretion rate/[mg/(g·h)]		
	小规格 S	中规格 M	大规格 L	小规格 S	中规格 M	大规格 L
0	0.525±0.060 <sup>Aab</sup>	0.314±0.009 <sup>Bab</sup>	0.173±0.021 <sup>Cab</sup>	0.061±0.005 <sup>Ac</sup>	0.034±0.003 <sup>Bb</sup>	0.018±0.002 <sup>Cc</sup>
4	0.643±0.048 <sup>Aa</sup>	0.319±0.003 <sup>Bab</sup>	0.187±0.017 <sup>Ca</sup>	0.070±0.006 <sup>Ac</sup>	0.035±0.002 <sup>Bb</sup>	0.021±0.004 <sup>Cd</sup>
8	0.663±0.108 <sup>Aa</sup>	0.332±0.006 <sup>Ba</sup>	0.195±0.008 <sup>Ba</sup>	0.087±0.002 <sup>Ab</sup>	0.038±0.002 <sup>Bab</sup>	0.025±0.002 <sup>Cbc</sup>
12	0.457±0.069 <sup>Ab</sup>	0.283±0.048 <sup>Bab</sup>	0.146±0.012 <sup>Cbc</sup>	0.123±0.005 <sup>Aa</sup>	0.049±0.002 <sup>Ba</sup>	0.034±0.001 <sup>Ca</sup>
16	0.348±0.017 <sup>Ab</sup>	0.225±0.064 <sup>Bb</sup>	0.133±0.006 <sup>Bc</sup>	0.093±0.003 <sup>Ab</sup>	0.032±0.010 <sup>Bb</sup>	0.029±0.002 <sup>Bab</sup>

表5 不同规格红螯螯虾在不同氨氮浓度下的氧氮比(O:N)

Tab.5 O:N ratios of different size *C. quadricarinatus* under different ammonia concentrations

氨氮浓度 Ammonia/(mg/L)	小规格 S	中规格 M	大规格 L
0	8.636±1.300 <sup>Aa</sup>	9.359±0.912 <sup>Aa</sup>	9.442±0.485 <sup>Aa</sup>
4	9.143±0.135 <sup>Aa</sup>	9.066±0.543 <sup>Aa</sup>	8.869±0.654 <sup>Aab</sup>
8	7.614±1.435 <sup>Aa</sup>	8.848±0.375 <sup>Aa</sup>	7.822±0.695 <sup>Ab</sup>
12	3.729±0.687 <sup>Bb</sup>	5.754±1.063 <sup>Ab</sup>	4.292±0.502 <sup>ABc</sup>
16	3.735±0.264 <sup>Cb</sup>	6.957±0.066 <sup>Ab</sup>	4.540±0.438 <sup>Bc</sup>

表6 不同温度下红螯螯虾  $R_O$  和  $R_N$  的  $Q_{10}$  值Tab.6  $Q_{10}$  values of oxygen consumption and ammonia excretion rates under different temperature levels in *C. quadricarinatus*

温度 Temperature/°C	耗氧率 $Q_{10}$ Oxygen consumption rate $Q_{10}$			排氨率 $Q_{10}$ Ammonia excretion rate $Q_{10}$		
	小规格 S	中规格 M	大规格 L	小规格 S	中规格 M	大规格 L
15~20	1.377	2.098	3.361	2.250	3.240	1.960
20~25	1.678	1.948	1.135	1.493	1.778	2.469
25~30	1.102	1.304	1.126	3.417	2.007	1.636
30~35	2.190	1.789	2.733	0.452	0.346	0.790

### 3 讨论

#### 3.1 温度对红螯螯虾 $R_O$ 和 $R_N$ 的影响

温度是影响水生经济动物生长代谢的重要环境因子。众多研究表明,在适宜温度时,水生动物  $R_O$  和  $R_N$  随温度的升高而增加(王冲等, 2018)。锦绣龙虾、凡纳滨对虾等虾类均符合这一规律(宋协法等, 2009; 罗嘉俊等, 2020), 其他水生经济动物如钝吻黄盖鲽 (*Pseudopleuronectes yokohamae*) 幼鱼、九孔鲍 (*Haliotis diversicolor*) 等也是如此(崔前进等, 2018; 王崇懿等, 2020)。本研究结果显示,在温度为 15°C~35°C 时,红螯螯虾  $R_O$  随温度升高而增加;  $R_N$  在 15°C~30°C 范围内不断增加,在 35°C 时逐渐下降。红螯螯虾的最适生长水温为 24°C~32°C(石顺芳等, 2020), 高于 32°C 会对其排泄产生一定的抑制作用,进而使  $R_N$  降低。 $Q_{10}$  是反映温度对水生生物代谢影响的指标,本研究中,在温度为 25°C~30°C 时,3 种规格红螯螯虾  $R_O$

的  $Q_{10}$  值均最小,说明当温度适宜时,其对红螯螯虾呼吸影响不大(邢道超等, 2017)。而在该温度范围内, S 组红螯螯虾  $R_N$  的  $Q_{10}$  值最大,其他 2 个组  $R_N$  的  $Q_{10}$  值在其他温度时最高,说明较大规格的红螯螯虾更能适应温度的变化。

#### 3.2 氨氮浓度对红螯螯虾 $R_O$ 和 $R_N$ 的影响

严银龙等(2019)、孙明龙等(2020)和时嘉赓等(2020)研究表明,水产动物  $R_N$  不仅与饵料、温度和盐度等密切相关,亦受水体中氨氮浓度的影响。当水体环境中氨氮浓度过高时,会导致水生动物代谢紊乱、组织结构受损甚至死亡,如棘胸蛙 (*Paa spinosa*) 蝌蚪在氨氮浓度超过 14.70 mg/L 后,其皮肤供氧效率将会下降;大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 在氨氮浓度超过 4.31 mg/L 后出现呼吸抑制(姜令绪等, 2004; 曾庆婷等, 2016; 牛春格等, 2019; 杨斯琪等, 2019; 孟振等, 2020)。因此,有必要通过探究红螯螯虾在不同氨氮浓度条件下呼吸代谢来确定其最佳氨氮耐受范围。在

实验浓度范围内, 红螯螯虾的  $R_O$  呈先上升后下降的趋势, 并在浓度超过 12 mg/L 时达到最高, 这一研究结果与潘训彬等(2017)研究结果类似。这是因为当水中氨氮浓度上升时, 水中的氨会通过红螯螯虾的鳃进入其体内, 造成血氨积累, 进而改变了红螯螯虾代谢模式, 促进其排氮; 而当水中非离子氨浓度继续升高至一定阈值时, 又会影响其鳃的排氮, 同时, 也抑制呼吸代谢(冼健安等, 2014; 邹李昶等, 2015)。

### 3.3 温度、氨氮浓度对红螯螯虾 O:N 值的影响

O:N 值是研究水产动物生长代谢的一个重要参数, 其大小表示该生物体内蛋白质与脂肪、碳水化合物分解代谢的比率(Torres *et al.*, 2002; Zheng *et al.*, 2008; 王鹏帅等, 2017; 聂鸿涛等, 2017)。当 O:N 值较小(约为 7 时)时, 表明该生物体内主要以蛋白质代谢为主, 而 O:N 值为 24 时, 则表明该生物体内主要以脂肪和蛋白质混合代谢为主。在温度为 15℃~35℃ 时, 红螯螯虾的 O:N 值为 8.636~20.899, 说明在该温度范围内, 其代谢的能量主要由蛋白质和脂肪提供(胡发文等, 2021)。而在氨氮浓度为 0~8 mg/L 内, 红螯螯虾的 O:N 值为 7.614~9.442, 表明此时红螯螯虾代谢仍通过脂肪和蛋白质供能, 但蛋白质利用比例较高; 当氨氮浓度为 8~16 mg/L 时, 红螯螯虾的 O:N 值为 3.729~6.957, 此时, 红螯螯虾代谢则以蛋白质供能为主(刘鹏远等, 2020; 霍恩泽等, 2021)。

综上所述, 温度和氨氮浓度对不同规格红螯螯虾的  $R_O$  和  $R_N$  均影响显著。在养殖过程中, S 组红螯螯虾最适生长温度为 25℃~30℃; 相较于 S 组个体, M 和 L 组红螯螯虾耐高温能力更强, 但也不宜超过 35℃。本实验条件下, 红螯螯虾的氨氮耐受浓度为 8~12 mg/L。在红螯螯虾养殖中, 应该严格控制水温变化, 并且做好日常水质监测, 避免因水体中氨氮浓度过高而影响其生长代谢。

## 参 考 文 献

- CUI Q J, SHANG S N, CAI Z L, *et al.* Influence of salinity, temperature and body weight on oxygen consumption and ammonia excretion of *Pleuronectes yokohama* juvenile. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2018, 27(1): 64–72 [崔前进, 尚胜男, 蔡忠璐, 等. 盐度、温度和体质量对钝吻黄盖鲽幼鱼排氮率和耗氧率的影响. *上海海洋大学学报*, 2018, 27(1): 64–72]
- CUI Y, WOOTTON R J. The metabolic rate of the minnow, *Phoxinus phoxinus* (L.) (Pisces: Cyprinidae), in relation to ration, body size and temperature. *Functional Ecology*, 1988, 2(2): 157–161
- GIACOMIN M, DAL P G, EOM J, *et al.* The effects of salinity and hypoxia exposure on oxygen consumption, ventilation, diffusive water exchange and ionoregulation in the Pacific hagfish (*Eptatretus stoutii*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology*, 2019, 232: 47–59
- HU F W, WANG X L, GAO F X, *et al.* Influence of temperature, salinity, and anesthetics on the oxygen consumption and ammonia excretion rates in fat greenling (*Hexagrammos otakii*) juveniles. *Marine Sciences*, 2021, 45(1): 54–61 [胡发文, 王晓龙, 高凤祥, 等. 温度、盐度和两种麻醉剂对大泷六线鱼幼鱼耗氧率、排氮率的影响. *海洋科学*, 2021, 45(1): 54–61]
- HUO E Z, ZHANG W W, LI J Q, *et al.* Effects of acute salinity changes on energy budgets of oysters *Crassostrea ariakensis* and *Crassostrea gigas*. *Progress in Fishery Sciences*, 2021, 42(2): 132–138 [霍恩泽, 张雯雯, 李加琦, 等. 盐度骤降对近江牡蛎和长牡蛎能量收支的影响. *渔业科学进展*, 2021, 42(2): 132–138]
- JIANG L X, PAN L Q, XIAO G Q. Effects of ammonia-N on immune parameters of white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11(6): 537–541 [姜令绪, 潘鲁青, 肖国强. 氨氮对凡纳滨对虾免疫指标的影响. *中国水产科学*, 2004, 11(6): 537–541]
- JONES C M, MEDLEY P B, AVAULT J W. A global perspective of red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*: Production, economics and marketing. *Journal of World Aquaculture Society*, 1994, 25(4): 6–13
- LI J E, CAO S H, OU Y J, *et al.* Influence of temperature, salinity, and pH on oxygen consumption rate, ammonia excretion rate, and suffocation point in juvenile *Mugil cephalus*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(5): 954–962 [李加儿, 曹守花, 区又君, 等. 温度、盐度和 pH 对鲮鱼耗氧率、排氮率以及窒息点的影响. *中国水产科学*, 2014, 21(5): 954–962]
- LI Z M, LIU Z G, XIE L, *et al.* Effect of body weight and temperature on oxygen consumption and ammonia excretion rates of *Chlamys nobilis*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2010, 41(1): 99–105 [栗志民, 刘志刚, 谢丽, 等. 体重和温度对华贵栉孔扇贝(*Chlamys nobilis*)耗氧率和排氮率的影响. *海洋与湖沼*, 2010, 41(1): 99–105]
- LIANE S, LAURA S, LÓPEZ G. Compensatory growth in juveniles of freshwater red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* reared at three different temperatures: Hyperphagia and food efficiency as primary mechanisms. *PloS One*, 2015, 10(9): 1–19
- LIANE S, NATALIA S C, FERNANDO C D, *et al.* Effect of intermittent feeding on growth in early juveniles of the crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture*, 2011, 319(1): 98–104
- LIU C S, LIU X X, WANG H, *et al.* Effects of light intensity and spectra on metabolism of ammonia, active phosphates, and

- oxygen consumption in *Tridacna crocea*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2018, 49(2): 313–318 [刘春胜, 刘小霞, 汪浩, 等. 光照强度和光色对番红砗磲(*Tridacna crocea*) 氮氮、活性磷酸盐及氧代谢的影响. *海洋与湖沼*, 2018, 49(2): 313–318]
- LIU F, GENG C, QU Y K, *et al.* The feeding of dietary *Codonopsis pilosula* polysaccharide enhances the immune responses, the expression of immune-related genes and the growth performance of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Fish and Shellfish Immunology*, 2020, 103: 321–331
- LIU J Y, CHEN Y Y, CAO F J, *et al.* Effects of salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of different size in *Haliotis diversicolor supertexta*. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2019, 39(5): 129–134 [刘建勇, 陈园媛, 曹伏君, 等. 盐度对不同规格九孔鲍耗氧量和排氮率的影响. *广东海洋大学学报*, 2019, 39(5): 129–134]
- LIU K, XU D P, DUAN J R, *et al.* Effects of water temperature and body mass on oxygen consumption and ammonia excretion of artificially domesticated *Exopalaemon modestus* offspring in Taihu Lake. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(5): 957–962 [刘凯, 徐东坡, 段金荣, 等. 体质量和水温对太湖秀丽白虾人工驯养子代耗氧率和排氮率的影响. *生态学杂志*, 2010, 29(5): 957–962]
- LIU P Y, ZHANG C X, ZHAO B L, *et al.* Effects of salinity stress on the oxygen consumption and ammonia excretion rates of the invasive fresh snail *Pomacea canaliculate*. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(7): 1072–1078 [刘鹏远, 张春霞, 赵本良, 等. 盐胁迫对福寿螺耗氧率和排氮率的影响. *中国生态农业学报(中英文)*, 2020, 28(7): 1072–1078]
- LU X, PENG D, CHEN X R, *et al.* Effects of dietary protein levels on growth, muscle composition, digestive enzymes activities, hemolymph biochemical indices and ovary development of pre-adult red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Aquaculture Reports*, 2020, 18
- LUO J J, LIANG H F, ZHUO H B, *et al.* Study on the oxygen consumption rate and suffocation threshold of Juvenile *Panulirus ornatus*. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2020, 48(17): 112–114 [罗嘉俊, 梁华芳, 卓宏标, 等. 锦绣龙虾幼虾耗氧率和窒息点研究. *安徽农业科学*, 2020, 48(17): 112–114]
- MENG Z, ZHANG H L, LIU X F, *et al.* Toxic effects of acute ammonia stress on young turbot *Scophthalmus maximus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2020, 41(2): 51–60 [孟振, 张鸿丽, 刘新富, 等. 氨氮急性胁迫对大菱鲆幼鱼的毒性效应. *渔业科学进展*, 2020, 41(2): 51–60]
- NIE H T, XING N N, WANG H L, *et al.* Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion in Cockle *Clinocardium californiense*. *Fisheries Science*, 2017, 36(5): 658–661 [聂鸿涛, 邢宁宁, 王海伦, 等. 温度和盐度对加州扁鸟蛤耗氧率和排氮率的影响. *水产科学*, 2017, 36(5): 658–661]
- NIU C G, YANG C, SHEN T Y, *et al.* Acute effect of ammonia toxicity attack on mortality, ammonia excretion rate, oxygen consumption and suffocation point on *Paa spinosa* tadpoles in aquatic economy. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2019, 50(1): 188–196 [牛春格, 杨程, 申屠琰, 等. 氨氮急性攻毒对水产经济动物棘胸蛙(*Paa spinosa*)蝌蚪死亡率、排氮率、耗氧率及窒息点的影响. *海洋与湖沼*, 2019, 50(1): 188–196]
- PAN X B, ZHANG X X, LU Y P, *et al.* Acute toxicity of ammonia and nitrite on juvenile and subadult red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*). *Journal of Biosafety*, 2017, 26(4): 316–322 [潘训彬, 张秀霞, 鲁耀鹏, 等. 氨氮和亚硝酸盐对红螯螯虾幼虾和亚成虾的急性毒性. *生物安全学报*, 2017, 26(4): 316–322]
- PENG G, XU Y, ZHANG Y, *et al.* Genetic diversity analysis of successive generations of red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* in different breeding areas in China. *Fisheries Science*, 2020, 39(4): 615–619 [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. *水产科学*, 2020, 39(4): 615–619]
- SHI J G, FENG Y W, JIANG X, *et al.* Effects of water temperature and macroalga species on feeding, respiration and ammonia excretion of Sea Urchin *Hemicentrotus pulcherrimus*. *Fisheries Science*, 2020, 39(1): 72–78 [时嘉赓, 冯艳微, 姜绪, 等. 水温和藻类对马粪海胆摄食、呼吸及排氮率的影响. *水产科学*, 2020, 39(1): 72–78]
- SHI S F, ZHENG M T, TAN J, *et al.* Characteristics and pond ecological aquaculture technique of *Cherax quadricarinatus*. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2020(1): 203–204, 207 [石顺芳, 郑梦婷, 谭进, 等. 红螯螯虾的特征特性及池塘生态养殖技术. *现代农业科技*, 2020(1): 203–204, 207]
- SHI Y J, LISA J, FENG H, *et al.* Optimizing reproductive performance and embryonic development of red swamp crayfish *Procambarus clarkii* by manipulating water temperature. *Aquaculture*, 2019, 510: 32–42
- SONG X F, CHENG Y W, XING D C, *et al.* Influences of temperature and weight on oxygen consumption rate and ammonium excretion of *Oplegnathus punctatus* and their circadian rhythms. *Periodical of Ocean University of China (Nature Science)*, 2017, 47(9): 21–29 [宋协法, 程亚伟, 邢道超, 等. 温度、体重对斑石鲷耗氧率、排氮率的影响及昼夜节律变化. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2017, 47(9): 21–29]
- SONG X F, LIU P, GE C Z. Interactive effects of temperature and salinity on oxygen consumption, ammonia-nitrogen excretion and phosphate excretion in *Litopenaeus vannamei*. *Fishery Modernization*, 2009, 36(2): 1–6 [宋协法, 刘鹏, 葛长宇. 温度、盐度交互作用对凡纳滨对虾耗氧和氨氮、磷排泄的影响. *渔业现代化*, 2009, 36(2): 1–6]
- SUN M L, BAI Z Y, FU B C, *et al.* Diurnal variation in oxygen consumption and ammonia excretion and feeding rhythm of

- freshwater mussel *Hyriopsis cumingii* under different alga concentrations. Chinese Journal of Fisheries, 2020, 33(6): 56–60 [孙明龙, 白志毅, 傅百成, 等. 三角帆蚌耗氧率和排氨率的昼夜变化及不同饵料浓度下的摄食节律. 水产学杂志, 2020, 33(6): 56–60]
- TORRES G, GIMENEZ L, ANGER K. Effects of reduced salinity on the biochemical composition (lipid, protein) of zoeal decapod crustacean larvae. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2002, 277: 43–60
- VANZQUEZ F J, LOPEZ-GRECO L S. Intersex females in the red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae). Revista de Biología Tropical, 2007, 55(2): 25–32
- WANG C, SUN T Q, WANG Y Q, et al. Influences of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion rates of *Scapharca subcrenata*. Transactions of Oceanology and Limnology, 2018(1): 110–115 [王冲, 孙同秋, 王玉清, 等. 温度和盐度对毛蚶耗氧率和排氨率的影响. 海洋湖沼通报, 2018(1): 110–115]
- WANG C Y, HU B H, LIU J Y, et al. Effects of temperature and body weight on oxygen consumption and ammonia excretion rates of variously colored abalone *Haliotis diversicolor supertexta*. Journal of Dalian Ocean University, 2020, 35(3): 387–391 [王崇懿, 胡宝华, 刘建勇, 等. 温度、体质量对九孔鲍耗氧率和排氨率的影响. 大连海洋大学学报, 2020, 35(3): 387–391]
- WANG P S, JIANG X M, HAN Q X, et al. Effects of salinity and temperature on the oxygen consumption, ammonia excretion rates and suffocation threshold of different sizes of juvenile *Sepia pharaonis*. Acta Hydrobiologica Sinica, 2017, 41(5): 1027–1035 [王鹏帅, 蒋霞敏, 韩庆喜, 等. 盐度和温度对不同规格虎斑乌贼幼体的耗氧率、排氨率和窒息点的影响. 水生生物学报, 2017, 41(5): 1027–1035]
- WANG Z P, LI B, QIN L, et al. Metabolic characteristics and adaptability of a new variety of sea cucumber “Shenyou No.1” under different salinities. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(3): 108–116 [王治平, 李彬, 秦蕾, 等. 刺参“参优 1 号”新品种在不同盐度下的代谢特征和适应性研究. 渔业科学进展, 2021, 42(3): 108–116]
- XIAN J A, QIAN K, GUO H, et al. Research progress in toxic effects of ammonia-N on shrimp. Feed Industry, 2014, 35(22): 52–58 [洗健安, 钱坤, 郭慧, 等. 氨氮对虾类毒性影响的研究进展. 饲料工业, 2014, 35(22): 52–58]
- XING D C, SONG X F, PENG L, et al. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of juvenile *Epinephelus groupers*. Fishery Modernization, 2017, 44(3): 7–14 [邢道超, 宋协法, 彭磊, 等. 温度与盐度对云龙石斑鱼幼鱼耗氧率和排氨率的影响. 渔业现代化, 2017, 44(3): 7–14]
- XU W Q, YE J Y. Initial effects of compound microbial preparation on water quality of framing system and intestinal microbial community of high-density cultured red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*). Journal of Microbiology, 2020, 40(5): 58–66 [徐文倩, 叶姜瑜. 复合菌剂 M5 对红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)高密度养殖系统水质及其肠道微生物群落影响的初步研究. 微生物学杂志, 2020, 40(5): 58–66]
- YAN M C, SHAN L Z, SHAO X B, et al. Influences of temperature and weight on respiration and excretion of *Miichthys miiuy* juvenile. Journal of Tropical Oceanography, 2007, 26(1): 44–49 [闫茂仓, 单乐州, 邵鑫斌, 等. 温度及体重对鲢鱼幼鱼耗氧率和排氨率的影响. 热带海洋学报, 2007, 26(1): 44–49]
- YAN Y L, YUAN X C, SHI Y H, et al. Effects of salinity on growth, oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of juvenile marbled rockfish *Sebastes marmoratus*. Journal of Dalian Ocean University, 2019, 34(4): 545–551 [严银龙, 袁新程, 施永海, 等. 盐度对褐菖鲉幼鱼生长、耗氧率和排氨率的影响. 大连海洋大学学报, 2019, 34(4): 545–551]
- YANG S Q, ZHENG H W, SUN Y, et al. Effects of ammonia exposure, temperature, and body weight on oxygen consumption rate and asphyxiation point of juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides*. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2019, 50(6): 1328–1333 [杨斯琪, 郑洪武, 孙颖, 等. 氨氮、温度和体重大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)幼鱼耗氧率和窒息点的影响. 海洋与湖沼, 2019, 50(6): 1328–1333]
- YUAN J L, GUO J L, WANG H Y, et al. Acute toxicity of cypermethrin on the juvenile of red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. Chemosphere, 2019, 237, 124468
- ZENG Q T, YU H N, LIN X T, et al. Effects of ammonia-nitrogen on locomotor performance and the energy budget of *Litopenaeus vannamei*. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(1): 198–206 [曾庆婷, 于赫男, 林小涛, 等. 氨氮胁迫下凡纳滨对虾运动行为与能量分配模式变化. 中国水产科学, 2016, 23(1): 198–206]
- ZHENG Y Z, FU P S. The biological characteristics and breeding technology of *Cherax quadricarinatus*. Inland Fisheries, 2000(4):36–37 [郑玉珍, 付佩胜. 红螯螯虾的生物学特性及养殖技术. 内陆水产, 2000(4): 36–37]
- ZHENG Z, JIN C, LI M, et al. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile *miiuy* croaker, *Miichthys miiuy* (Basilevsky). Aquaculture International, 2008, 16(6): 581–589
- ZOU L C, REN S Y, WANG Z Z, et al. Acute effects of ammonia exposure on mortality, oxygen consumption, and suffocation point in freshwater shrimp *Macrobrachium nipponensis*. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(1): 206–211 [邹李昶, 任夙艺, 王志铮, 等. 氨氮急性胁迫对日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)死亡率、耗氧率及窒息点的影响. 海洋与湖沼, 2015, 46(1): 206–211]

## Effects of Temperature and Ammonia on Oxygen Consumption and Ammonia Excretion Rates of *Cherax quadricarinatus* with Different Sizes

ZHOU Jiancong<sup>1</sup>, CAI Li<sup>1</sup>, YANG Jingru<sup>1</sup>, LIN Xianxin<sup>1</sup>,  
GU Zhifeng<sup>1,2</sup>, SHI Yaohua<sup>1</sup>①, LIU Chunsheng<sup>1,2</sup>①

(1. Ocean College, Hainan University, Haikou, Hainan 507228, China; 2. State Key Laboratory of Marine Resource Utilization in South China Sea, Hainan University, Haikou, Hainan 507228, China)

**Abstract** To determine the influence of temperature and ammonia on the oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of the red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*), a single factor experimental design and closed flow method were used to analyze the influence of temperature and ammonia concentration on the oxygen consumption and ammonia excretion rates of crayfish of three sizes (S, M, and L representing small, medium, and large crayfish, respectively). The results were as follows. Temperature had significant effects on the oxygen consumption and ammonia excretion rates of crayfish. The oxygen consumption rate increased with the increase in temperature (15°C~35°C), and at 35°C, the oxygen consumption rate reached the maximum, wherein the rate of the S group was 0.777 mg/(g·h), significantly higher than that of the other two size classes. The ammonia excretion rate of the crayfish increased first and then decreased with increasing temperature, and reached a maximum at 30°C; among the size classes, the ammonia excretion rate of the S group was 0.061 mg/(g·h) and was significantly higher than the other two sizes. Temperature had a significant effect on the oxygen/nitrogen ratio of the crayfish. 2 The level of ammonia significantly affected the oxygen consumption and ammonia excretion rates of the crayfish. The oxygen consumption and ammonia excretion rates increased with an increase in the ammonia concentration, and then decreased. The oxygen consumption rate reached a maximum at an ammonia concentration of 8 mg/L, which was 0.663, 0.332, and 0.195 mg/(g·h) in the S, M, and L groups, respectively, whereas the ammonia excretion rate reached a maximum at an ammonia concentration of 12 mg/L, which was 0.123, 0.049, and 0.034 mg/(g·h) in the S, M, and L groups, respectively, and was significantly higher than those of the other groups. Furthermore, the ammonia concentration had a significant effect on the oxygen/nitrogen ratio of the crayfish. The  $Q_{10}$  values for the oxygen consumption and ammonia excretion rates ranged from 1.102~3.361 and 0.346~3.417, and at the minimum values were at 25°C~30°C and 30°C~35°C, respectively.

**Key words** *Cherax quadricarinatus*; Temperature; Ammonia; Oxygen consumption rate; Ammonia excretion rate

① Corresponding author: SHI Yaohua, E-mail: stone70@126.com; LIU Chunsheng, E-mail: lcs5113@163.com