

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16179

温度对不同规格珍珠龙胆石斑鱼(棕点石斑鱼♀×鞍带石斑鱼♂) 呼吸和排泄的影响

仇登高^{1,2}, 黄种持^{1,2}, 郑乐云^{1,2}, 吴水清^{1,2}, 刘银华^{1,2}, 邱峰岩³, 郑君飘³, 陈新明³

1. 福建省水产研究所, 福建 厦门 361013;
2. 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室, 福建 厦门 361013;
3. 厦门小嶝水产科技有限公司, 福建 厦门 361104

摘要: 应用实验生态学方法, 研究了不同水温(15.8℃、21.0℃、26.6℃、30.9℃、36.5℃)对小[(28.1±1.1) g]、中[(278.9±20.1) g]、大[(575.8±37.4) g] 3 种规格的珍珠龙胆石斑鱼(棕点石斑鱼♀×鞍带石斑鱼♂)(*Epinephelus fuscoguttatus* ♀×*Epinephelus lanceolatus* ♂)呼吸和排泄的影响。实验结果表明, 温度和规格对珍珠龙胆耗氧率和排氨率的影响均达到显著水平($P<0.05$); 小、中、大 3 种规格珍珠龙胆耗氧率和排氨率随水温的增加呈现先升高后降低、再升高的变化规律, 当水温为 26.6℃时达到最大值, 分别为(1.510±0.124) mg/(g·h)、(0.306±0.007) mg/(g·h)、(0.161±0.010) mg/(g·h)和(47.739±21.048) μg/(g·h)、(13.956±1.783) μg/(g·h)、(6.811±1.882) μg/(g·h), 耗氧率和排氨率与温度之间的回归关系均符合一元四次方程, 相关系数 R^2 均为 1.000。在水温 15.8~36.5℃范围, 相同水温下, 珍珠龙胆的耗氧率和排氨率随其个体的增大而降低, 耗氧率和排氨率与规格之间的回归关系均符合一元二次方程, 相关系数 R^2 均为 1.000。不同温度条件下, 小、中、大 3 种规格珍珠龙胆的耗氧率 Q_{10} 和排氨率 Q_{10} 在 21.0~26.6℃时均达到最大, 且其均在 26.6~30.9℃时最小。小、中、大 3 种规格 O/N 比值平均值变化范围分别为 21.535~113.541、15.713~32.193、12.097~27.094, 表明实验水温条件下小规格珍珠龙胆的供能物质为蛋白质、脂肪和碳水化合物, 而中、大规格珍珠龙胆的主要能量物质为蛋白质和脂肪。

关键词: 珍珠龙胆石斑鱼; 水温; 规格; 耗氧率; 排氨率; 温度系数(Q_{10}); O/N 比值

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)02-0295-11

呼吸和排泄是鱼类代谢活动和能量水平的重要表征, 也是了解鱼类生理状况、营养需求和代谢规律等方面的重要途径^[1-3]。耗氧率和排氨率是指鱼类单位体重在单位时间内消耗水体中氧气和排出氨的数量, 是衡量鱼类代谢水平和能量消耗的两个重要生理指标。温度和规格是影响鱼类耗氧率和排氨率的重要因素, 确定温度和规格与耗氧率和排氨率的相关关系, 可以准确掌握鱼类生理活动情况、代谢规律和能量需求, 并指导鱼类

的日常养殖生产、水体水质的管理和养殖密度的确定等。因此, 全面开展温度对不同规格鱼类呼吸和排泄影响的研究, 不仅会对鱼类能量代谢方面的研究起到重要作用, 而且在鱼类养殖生产上也具有应用价值。

珍珠龙胆石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus* ♀×*Epinephelus lanceolatus* ♂), 又名虎龙斑, 是采用棕点石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*)为母本、鞍带石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*)为父本进行人

收稿日期: 2016-07-28; 修订日期: 2016-10-04.

基金项目: 国家海洋经济创新发展区域示范项目(12CY001SF01); 福建省海洋经济创新发展区域示范项目(2014FJPT01); 厦门南方海洋研究中心项目(14PZY017NF17, 14GZP75NE39); 福建省海洋与渔业结构调整专项; 福建省省属公益类科研院所基本科研专项(2016R1003-8).

作者简介: 仇登高(1982-), 男, 助理研究员, 博士, 主要从事现代渔业工程与养殖生态学研究. E-mail: qdg0112@163.com

通信作者: 黄种持, 研究员, 研究方向为水产养殖与育种研究, E-mail: hzc@fjta.com; 郑乐云, 教授级高级工程师, 研究方向为海水鱼类繁殖及育种, E-mail: lyzheng69@sina.com

工杂交而培育出的石斑鱼新品种,具有生长速度快、病害较少、适应性较强等诸多优点,是一种可在池塘、网箱、工厂化流水和循环水等模式下养殖的名优经济鱼类。关于鲈亚目(Percoidei)、石斑鱼亚科(Epinephelinae)鱼类的呼吸和排泄方面的研究,国内水产科技工作者已开展了一些工作,如陈婉情等^[4]探究了驼背鲈(*Cromileptes altivelis*)、豹纹鳃棘鲈(*Plectropomus leopardus*)、赤点石斑鱼(*Epinephelus akaara*)、棕点石斑鱼和珍珠龙胆石斑鱼 5 种海水养殖鱼类幼鱼(体重范围为 53.6~84.5 g)在 20℃、25℃和 30℃水温下的耗氧率和窒息点;梁华芳等^[5]报道了不同温度和盐度对体重为(98.8±4.3) g 龙虎斑(棕点石斑鱼♀×鞍带石斑鱼♂)呼吸和排泄的影响;姚学良等^[6]描述了在 15℃、20℃、25℃、30℃、35℃水温条件下豹纹鳃棘鲈幼鱼的代谢变化特征;陈国华等^[7]应用测定流水中溶氧量的方法研究了鲑点石斑鱼(*Epinephelus fario*)幼鱼耗氧率的变化规律。目前,有关温度对不同规格珍珠龙胆石斑鱼呼吸和排泄影响的系统研究尚未见报道。为此,本研究以珍珠龙胆石斑鱼为实验材料,探讨了不同温度条件下不同规格珍珠龙胆石斑鱼耗氧率和排氨率的变化规律,系统地研究了温度梯度对不同规格珍珠龙胆石斑鱼呼吸和排泄的影响效应,旨在为珍珠龙胆石斑鱼生理生态学研究提供基础资料,同时为国内珍珠龙胆石斑鱼人工养殖技术优化和循环水养殖系统水质管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验于 2015 年 2 月至 4 月在福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室进行,实验用鱼为厦门小嶝水产科技有限公司人工繁育的不同规格珍珠龙胆石斑鱼。将实验鱼在实验室养殖池内暂养 15 d,实验前 48 h 停止饲喂,随机选取健壮小、中、大 3 种个体用于实验。3 种规格珍珠龙胆石斑鱼的体重分别为(28.1±1.1) g、(278.9±20.1) g、(575.8±37.4) g,全长分别为(10.8±0.3) cm、(25.9±0.8) cm、(31.6±1.2) cm。实验用水为厦门市小嶝岛近岸海域海水,经砂滤、消毒后使用,海水 pH 为(7.98±0.06),盐度为 30。

1.2 实验方法

1.2.1 实验设计 实验设定 5 个水温梯度,分别为 15.8℃、21.0℃、26.6℃、30.9℃和 36.5℃。珍珠龙胆石斑鱼根据体重分为 3 个规格[(28.1±1.1) g、(278.9±20.1) g、(575.8±37.4) g]。每个实验组设 3 个重复和 1 个空白对照。预实验时发现不同温度和时间条件下,不同规格珍珠龙胆石斑鱼呼吸代谢强烈,故实验容器选用体积较大的运输鱼苗的双层塑料袋,不同水温下实验袋内海水体积见表 1。实验时袋口扎紧密封以隔绝空气,将实验袋放置于玻璃钢槽中水浴,通过可调节式加热棒控制玻璃钢槽水温以调节实验袋水温,各梯度水温控制波动幅度为±0.2℃。呼吸室内放置 5 尾珍珠龙胆石斑鱼,为避免实验期间珍珠龙胆石斑鱼出现应激反应,实验前 24 h 将实验鱼放置在实验水温下暂养,待其适应环境温度且未发生生理应激性变化后再进行设定水温下呼吸和排泄实验。

在实验鱼处在较好适应状态下,扎紧实验袋开始计时,每组处理各个水温梯度实验在恒温条件下持续的平均时间见表 1,随即测定实验袋中水体溶解氧(DO)和氨氮(NH₃-N)含量。溶解氧采用丹麦欧仕卡便携式溶氧仪测定,氨氮采用美国 HACH 公司 DR890 比色计测定。

表 1 不同水温下实验袋内海水体积和持续的平均时间情况

Tab. 1 Average time and seawater volume of experimental bag under different water temperature

水温/℃ water temperature	实验袋内海水体积/L seawater volume	持续的平均时间/h time
15.8±0.1	40.2±1.2	3.0
21.0±0.1	39.8±0.3	1.5
26.6±0.1	39.5±0.0	2.6
30.9±0.1	39.5±0.5	1.2
36.5±0.1	39.7±0.1	1.3

1.2.2 相关参数及计算方法

(1) 耗氧率和排氨率。计算公式为:

$$R_O = (C_{DO0} - C_{DOt} \times S_{DO} - C_{DOt}) V / (m \times t)^{[3]}$$

$$R_N = (C_{Ni} - C_{No} \times S_N - C_{No}) V / (m \times t)^{[3]}$$

式中, R_O 为耗氧率[mg/(g·h)]; C_{DO0} 和 C_{DOt} 分别为呼吸室实验前和实验时间 t 时水中的溶解氧浓度(mg/L); S_{DO} 为对照组溶解氧变化系数[$S_{DO} = (C_0 -$

C_t/C_0 , C_0 、 C_t 分别为对照组实验开始和 t 时间后的溶解氧浓度(mg/L); R_N 为排氨率[$\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$]; C_{N0} 和 C_{Nt} 分别为呼吸室实验前和实验时间 t 时水中的总氨氮含量(mg/L); S_N 为对照组氨氮变化系数(S_N 计算方法与溶解氧变化系数 S_{DO} 相同); V 为实验用海水体积(L); m 为珍珠龙胆石斑鱼体重(g); t 为实验时间(h)。

(2) 氧氮比值(O/N)和温度系数(Q_{10})

O/N 比值为珍珠龙胆石斑鱼耗氧率与排氨率的比值, 即 $O/N=R_O/R_N$ ^[5]。温度系数 Q_{10} 为温度每升高 10°C , 水产动物的呼吸和排泄变化的比率, 即 $\lg Q_{10}=10\times(\lg R_2-\lg R_1)/(T_2-T_1)$ ^[3]。式中, R_1 、 R_2 分别为温度 T_1 、 T_2 时的耗氧率或排氨率。

1.3 数据处理

实验数据均采用 SPSS18.0 软件进行方差分析, 组间差异采用 LSD 多重比较, 数值采用平均值±标准差表示($\bar{x}\pm\text{SD}$), 显著性水平设为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同水温下珍珠龙胆石斑鱼呼吸和排泄的变化规律

在 $15.8\sim 36.5^{\circ}\text{C}$, 同一规格珍珠龙胆石斑鱼的耗氧率随着水温的增加呈现先升高后降低、再略有升高的变化规律(图 1)。在 $15.8\sim 26.6^{\circ}\text{C}$ 内, 水温越高, 耗氧率越大; 当水温升高至 26.6°C 时, 小、中、大规格珍珠龙胆石斑鱼耗氧率均达到最高值, 分别为 $1.51\text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 、 $0.31\text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 和 $0.16\text{ mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$, 随后下降、再略有升高。其结果符合多项式方程(表 2), 经单因素方差检验显示, 水温对小、中、大 3 种规格珍珠龙胆石斑鱼耗氧率的影响具有显著性差异($P<0.05$)。

在水温 $15.8\sim 36.5^{\circ}\text{C}$ 范围, 珍珠龙胆石斑鱼的排氨率变化趋势与其耗氧率相似(图 2)。在水温 $15.8\sim 26.6^{\circ}\text{C}$ 时, 小、中、大 3 种规格珍珠龙胆石斑鱼

氨率均伴随水温的上升而不断增大, 在 26.6°C 时达到最大值, 分别为 $47.74\text{ }\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 、 $13.96\text{ }\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 和 $6.81\text{ }\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。在水温 $26.6\sim 36.5^{\circ}\text{C}$ 时, 3 种规格

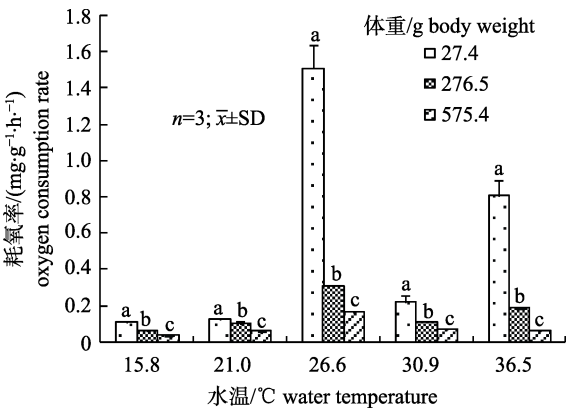


图 1 水温变化对不同规格珍珠龙胆石斑鱼耗氧率的影响
相同水温下, 标有不同字母表示组间具有显著性差异($P<0.05$)。

Fig. 1 Impact of water temperature on the oxygen consumption rate for hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂) with various body weights
At the same temperature, different letters mean significant difference ($P<0.05$).

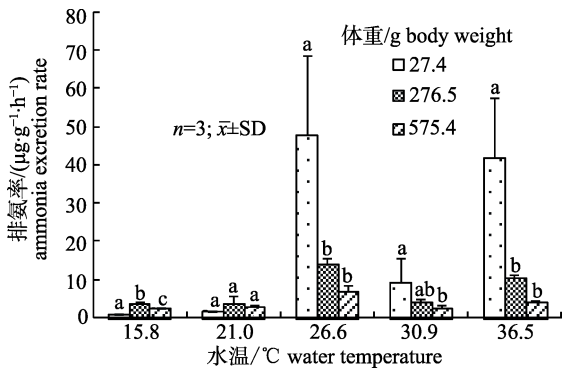


图 2 水温变化对珍珠龙胆石斑鱼排氨率的影响
相同水温下, 标有不同字母表示组间具有显著性差异($P<0.05$)。

Fig. 2 Impact of water temperature on the ammonia excretion rate for the hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂)
At the same temperature, different letters mean significant difference ($P<0.05$).

表 2 不同规格珍珠龙胆石斑鱼耗氧率(y)与水温(x)之间的关系式

Tab. 2 Relationship between oxygen consumption rate (y) and water temperature (x) of the hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂) with different body weights

体重/g body weight	关系式 function	R^2	a	b	c	d	e	P
27.4±0.8	$y=0.3589x^4-4.2649x^3+17.306x^2-27.435x+14.142$	1.000	0.3589	-4.2649	17.306	-27.435	14.142	0.000
276.5±17.3	$y=0.0522x^4-0.6171x^3+2.4826x^2-3.8711x+2.0127$	1.000	0.0522	-0.6171	2.4826	-3.8711	2.0127	0.000
575.4±18.8	$y=0.0242x^4-0.2891x^3+1.1724x^2-1.8329x+0.958$	1.000	0.0242	-0.2891	1.1724	-1.8329	0.958	0.000

珍珠龙胆石斑鱼的排氨率均随水温的增加呈现先降低后升高的趋势。其结果变化也符合多项式方程(表 3), 经单因素方差检验, 水温变化对珍珠龙胆石斑鱼排氨率的影响呈现显著水平($P<0.05$)。

水温变化对珍珠龙胆石斑鱼呼吸和排泄的影响通常用 Q_{10} 值来表示。不同水温下, 小、中、大 3 种规格珍珠龙胆石斑鱼的耗氧率 Q_{10} 和排氨率 Q_{10} 在 21.0~26.6℃ 时均达到最大, 分别为 91.80、7.82、6.88 和 1.75、1.30、1.16; 小、中、大 3 种规格珍珠龙胆石斑鱼的耗氧率 Q_{10} 和排氨率 Q_{10} 均在 26.6~30.9℃ 时最小, 分别为 0.01、0.09、0.13 和 0.68、0.76、0.80 (表 4)。

2.2 不同规格珍珠龙胆石斑鱼呼吸和排泄的变化规律

在本实验中, 不同规格珍珠龙胆石斑鱼的呼吸和排泄变化的结果表明, 在同一水温条件下, 不同规格珍珠龙胆石斑鱼的呼吸表现出显著变化(图 3)。在相同水温下, 珍珠龙胆石斑鱼的耗氧率随着规格的增加而降低, 规格越大的珍珠龙胆石

斑鱼, 其耗氧率越低。单因素方差检验结果显示, 规格对珍珠龙胆石斑鱼耗氧率的影响具有显著性差异($P<0.05$)。在不同水温下, 不同规格珍珠龙胆石斑鱼耗氧率的变化规律符合一元二次方程(表 5), 在珍珠龙胆石斑鱼耗氧率变化中, a 值为 0.5301~−0.0106, b 值为 0.0098~−2.7951, c 值为 0.1214~3.7754。

珍珠龙胆石斑鱼不同规格与排氨率的变化, 和不同规格与耗氧率关系表现出一些差异(图 4)。在同一水温条件下, 当水温为 15.8℃、21.0℃ 时, 随着规格的增大, 珍珠龙胆石斑鱼排氨率变化出现先升高后降低的规律; 当水温为 26.6℃、30.9℃ 和 36.5℃ 时, 排氨率呈现降低的趋势。方差分析结果表明, 规格对珍珠龙胆石斑鱼排氨率的影响达到显著水平($P<0.05$)。在不同水温条件下, 不同规格珍珠龙胆石斑鱼排氨率的变化趋势与耗氧率相似, 均符合一元二次方程(表 6)。在珍珠龙胆石斑鱼排氨率变化中, a 值为 13.319~−1.97, b 值为 8.75~−73.741, c 值为 108.16~−5.83。

表 3 不同规格珍珠龙胆石斑鱼排氨率(y)与水温(x)之间的关系式
Tab. 3 Relationship between ammonia excretion rate (y) and water temperature (x) of the hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂) with different body weights

体重/g body weight	关系式 function	R^2	a	b	c	d	e	P
27.4±0.8	$y=11.844x^4-139.96x^3+566.07x^2-895.18x+458.18$	1.000	11.844	-139.96	566.07	-895.18	458.18	0.000
276.5±17.3	$y=2.7888x^4-32.999x^3+133.54x^2-211.65x+112.1$	1.000	2.7888	-32.999	133.54	-211.65	112.1	0.000
575.4±18.8	$y=1.0655x^4-12.617x^3+50.882x^2-80.071x+43.426$	1.000	1.0655	-12.617	50.882	-80.071	43.426	0.000

表 4 不同水温条件下珍珠龙胆石斑鱼耗氧率和排氨率的 Q_{10} 值
Tab. 4 Q_{10} value of oxygen consumption rate $Q_{10(O)}$ and ammonia excretion rate $Q_{10(N)}$ for the hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂) with different water temperatures

水温/℃ water temperature	$Q_{10(O)}$			$Q_{10(N)}$		
	27.4±0.8	276.5±17.3	575.4±18.8	27.4±0.8	276.5±17.3	575.4±18.8
15.8~21.0	1.27±0.33 ^a	2.72±0.85 ^a	2.78±0.23 ^a	1.15±0.00 ^a	0.98±0.12 ^a	1.01±0.04 ^{ab}
15.8~26.6	11.49±0.27 ^a	4.57±0.17 ^b	4.41±0.42 ^b	1.43±0.06 ^b	1.13±0.01 ^{bc}	1.09±0.03 ^{bcd}
15.8~30.9	1.60±0.18 ^a	1.49±0.06 ^{acd}	1.58±0.04 ^c	1.15±0.06 ^a	1.01±0.01 ^a	0.99±0.02 ^{ac}
15.8~36.5	2.63±0.12 ^a	1.73±0.05 ^{acd}	1.36±0.03 ^{cd}	1.20±0.02 ^a	1.05±0.00 ^{ac}	1.02±0.01 ^{ac}
21.0~26.6	91.80±22.41 ^b	7.82±2.19 ^c	6.88±1.75 ^e	1.75±0.14 ^c	1.30±0.15 ^d	1.16±0.10 ^d
21.0~30.9	1.83±0.28 ^a	1.11±0.18 ^{cf}	1.18±0.02 ^{cd}	1.16±0.09 ^a	1.03±0.06 ^{ac}	0.99±0.02 ^a
21.0~36.5	3.39±0.28 ^a	1.51±0.13 ^{acd}	1.07±0.06 ^{cf}	1.22±0.03 ^{ad}	1.08±0.04 ^{ab}	1.02±0.02 ^{ac}
26.6~30.9	0.01±0.00 ^a	0.09±0.00 ^{fg}	0.13±0.04 ^f	0.68±0.01 ^e	0.76±0.02 ^c	0.80±0.11 ^e
26.6~36.5	0.53±0.05 ^a	0.60±0.02 ^{cf}	0.38±0.02 ^{df}	0.99±0.01 ^f	0.97±0.01 ^a	0.95±0.04 ^a
30.9~36.5	10.35±1.60 ^a	2.61±0.17 ^{ad}	0.91±0.13 ^{cf}	1.34±0.05 ^{bd}	1.18±0.04 ^b	1.09±0.04 ^{bcd}

注: 相同规格 Q_{10} 值下, 标有不同字母表示组间具有显著性差异($P<0.05$)。

Note: Different letters mean significant difference ($P<0.05$).

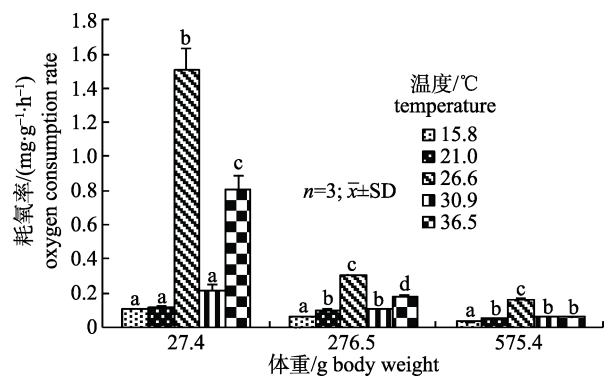


图 3 不同规格珍珠龙胆石斑鱼耗氧率的变化
相同规格下, 标有不同字母表示组间具有
显著性差异($P<0.05$).

Fig. 3 Impact of body weight on the oxygen consumption rate of the hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂)
At the same body weight, different letters mean significant difference ($P<0.05$).

2.3 珍珠龙胆石斑鱼呼吸排泄底物分析

通过呼吸和排泄底物分析, 探讨珍珠龙胆石斑鱼的 O/N 比值与规格和温度之间的关系。由表 7 可见, 在 $(15.8\pm0.1)^{\circ}\text{C}$ 、 $(21.0\pm0.1)^{\circ}\text{C}$ 和 $(36.5\pm0.1)^{\circ}\text{C}$ 下, 珍珠龙胆石斑鱼的 O/N 比值随个体的增大而减少, 而在 $(26.6\pm0.1)^{\circ}\text{C}$ 、 $(30.9\pm0.1)^{\circ}\text{C}$ 下, O/N 比值则随个体的增大呈现先降低后上升的趋势。水温为 $(15.8\pm0.1)^{\circ}\text{C}$ 时, 小、中、大 3 种

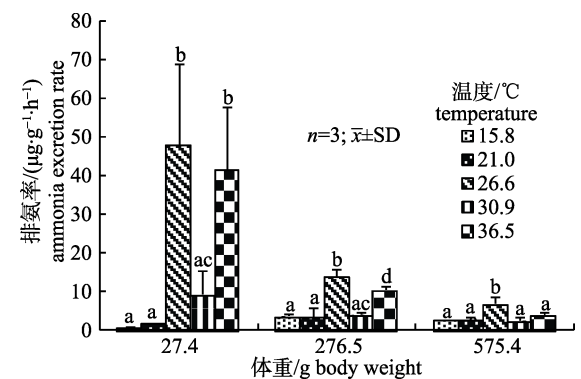


图 4 不同规格珍珠龙胆石斑鱼排氨率的变化
相同规格下, 标有不同字母表示组间具有
显著性差异($P<0.05$).

Fig. 4 Impact of body weight on the ammonia excretion rate of the hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂)
At the same body weight, different letters mean significant difference ($P<0.05$).

规格珍珠龙胆石斑鱼的 O/N 比值从 113.541 ± 5.890 降低至 12.097 ± 0.401 ; 水温为 $(21.0\pm0.1)^{\circ}\text{C}$ 时, O/N 比值从 62.728 ± 5.401 降低至 19.302 ± 3.253 ; 水温为 $(26.6\pm0.1)^{\circ}\text{C}$ 时, O/N 比值从 36.571 ± 18.229 降低至 22.128 ± 2.675 ; 水温为 $(30.9\pm0.1)^{\circ}\text{C}$ 时, O/N 比值从 33.775 ± 24.006 降低至 26.117 ± 3.435 ; 水温为 $(36.5\pm0.1)^{\circ}\text{C}$ 时, O/N 比值从 21.535 ± 9.234 降低至 15.645 ± 3.037 。

表 5 不同水温条件下珍珠龙胆石斑鱼耗氧率(y)与规格(x)之间的关系式
Tab. 5 Relationship between oxygen consumption rate (y) and body weight (x) of the hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂) with different water temperatures

水温/ $^{\circ}\text{C}$ temperature	关系式 function	R^2	a	b	c	P
15.8±0.1	$y=0.0109x^2-0.0813x+0.1782$	1.000	0.0109	-0.0813	0.1782	0.000
21.0±0.1	$y=-0.0106x^2+0.0098x+0.1214$	1.000	-0.0106	0.0098	0.1214	0.000
26.6±0.1	$y=0.5301x^2-2.7951x+3.7754$	1.000	0.5301	-2.7951	3.7754	0.000
30.9±0.1	$y=0.0345x^2-0.2155x+0.4009$	1.000	0.0345	-0.2155	0.4009	0.000
36.5±0.1	$y=0.2483x^2-1.3647x+1.9207$	1.000	0.2483	-1.3647	1.9207	0.000

表 6 不同水温条件下珍珠龙胆石斑鱼排氨率(y)与规格(x)之间的关系式
Tab. 6 Relationship between ammonia excretion rate (y) and body weight (x) of the hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂) with different water temperatures

水温/ $^{\circ}\text{C}$ temperature	关系式 function	R^2	a	b	c	P
15.8±0.1	$y=-1.97x^2+8.75x-5.83$	1.000	-1.97	8.75	-5.83	0.000
21.0±0.1	$y=-1.1771x^2+5.2109x-2.1105$	1.000	-1.1771	5.2109	-2.1105	0.000
26.6±0.1	$y=13.319x^2-73.741x+108.16$	1.000	13.319	-73.741	108.16	0.000
30.9±0.1	$y=1.7414x^2-10.325x+17.868$	1.000	1.7414	-10.325	17.868	0.000
36.5±0.1	$y=12.29x^2-68.02x+97.43$	1.000	12.29	-68.02	97.43	0.000

表 7 不同水温下不同规格珍珠龙胆石斑鱼的 O/N 比值
Tab. 7 O/N ratios of the hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀×*Epinephelus lanceolatus*♂) with various body weights under different water temperatures

n = 3; $\bar{x} \pm SD$		
水温/℃ water temperature	体重/g body weight	O/N
15.8±0.1	27.4±0.8	113.541±5.890 ^a
	276.5±17.3	15.713±1.626 ^b
	575.4±18.8	12.097±0.401 ^b
21.1±0.1	27.4±0.8	62.728±5.401 ^a
	276.5±17.3	32.193±14.656 ^b
	575.4±18.8	19.302±3.253 ^b
26.6±0.1	27.4±0.8	36.571±18.229 ^a
	276.5±17.3	22.128±2.675 ^a
	575.4±18.8	24.776±6.389 ^a
30.9±0.1	27.4±0.8	33.775±24.006 ^a
	276.5±17.3	26.117±3.435 ^a
	575.4±18.8	27.094±8.099 ^a
36.5±0.1	27.4±0.8	21.535±9.234 ^a
	276.5±17.3	17.548±1.501 ^a
	575.4±18.8	15.645±3.037 ^a

注: 相同水温下, 标有不同字母表示组间具有显著性差异($P<0.05$)。
Note: Different letters mean significant difference ($P<0.05$).

不同水温条件下, 同一规格的珍珠龙胆石斑鱼的 O/N 比值随水温升高而出现不规则的变化规律。其中, 小规格珍珠龙胆石斑鱼 O/N 比值随着水温升高而降低, 其平均值变化范围为 21.535~113.541; 中规格珍珠龙胆石斑鱼 O/N 比值随着水温上升而呈现波浪式变化, 其平均值变化范围为 15.713~32.193; 大规格珍珠龙胆石斑鱼 O/N 比值随水温的增加而出现先上升、后降低的趋势, 其平均值变化范围为 12.097~27.094。

3 讨论

3.1 水温对珍珠龙胆石斑鱼呼吸、排泄的影响强度

3.1.1 水温对珍珠龙胆石斑鱼呼吸的影响强度

鱼类作为变温脊椎动物, 其体温随环境水温的变化而变动, 体温的波动会直接影响鱼类体内生理代谢的强度^[8-10]。陈婉情等^[4]研究了不同水温下豹纹鳃棘鲈、驼背鲈、棕点石斑鱼、赤点石斑鱼和珍珠龙胆石斑鱼 5 种海水养殖鱼类幼鱼(53.6~

84.5 g)的耗氧率, 结果显示, 在盐度为 30 条件下, 5 种海水养殖鱼类幼鱼的耗氧率随水温的增加而升高。梁华芳等^[5]研究了温度对龙虎斑耗氧率的影响, 结果表明, 在水温 15~35℃范围内, 龙虎斑的耗氧率随着水温的升高而升高。杜劲松等^[11]检测了体重为 0.8~1.0 g、14.0~16.5 g 和 340~400 g 的 3 种规格白斑狗鱼(*Esox lucius*)在不同水温(12℃、16℃、18℃、20℃、22℃、24℃、26℃)条件下的耗氧率, 结果表明, 白斑狗鱼耗氧率随水温升高而增加。闫茂仓等^[12]探讨了不同水温下鳊(*Müchthys müuy*)幼鱼呼吸的变化规律, 结果指出鳊耗氧率随水温上升而增大。本研究结果表明, 在 15.8~36.5℃范围内, 3 种规格的珍珠龙胆石斑鱼耗氧率随着水温的升高而呈现先升高后降低、再略有升高的变化规律, 这与花鲈(*Lateolabrax japonicus*)^[13]和条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)^[14]的研究报道结果相接近。研究结果说明, 在适宜水温范围内, 随着水温升高, 鱼类生理代谢会快速上升, 此时耗氧率会逐渐增加, 当超出适宜水温后, 组织代谢水平会进入紊乱状态, 耗氧率就会随之下降^[15-16]。在本研究中, 耗氧率与温度之间的回归关系为一元四次函数方程, 这与邱成功等^[17]报道结论相吻合, 但与王跃斌等^[8]、叶乐等^[9]、闫茂仓等^[12]分别对黑鳍棘鲷(*Acanthopagrus schlegeli*)、克氏双锯鱼(*Amphiprion clarkii*)、鳊的研究结果不一致, 引起这种差异的原因可能与实验鱼种类、规格及生态习性等因素有关。

3.1.2 水温对珍珠龙胆石斑鱼排泄的影响强度

水温是影响鱼类排泄的重要环境因子之一。线薇薇等^[18]对梭鱼(*Liza haematocheila*)标准代谢、内源氮排泄与体重和温度关系研究的结果显示, 梭鱼的排氮率随温度升高而增加, 排氮率与温度二者关系为指数函数方程。梁华芳等^[5]研究报道, 在水温 15~35℃条件下, 龙虎斑的排氮率随着水温的上升呈现先升高后下降的趋势, 在 30℃时达到最大值为(3.985±0.094) μg/(g·h)。邱成功等^[17]采用静水密闭式呼吸仪, 检测了不同水温条件下褐菖鲉(*Sebastiscus marmoratus*)幼鱼排氮率变化, 结果显示, 在水温 10~30℃内, 褐菖鲉幼鱼排氮率变化范围为 2.64~10.01 μg/(g·h), 在水温 16℃时排氮率上升至峰值, 排氮率与水温的相关关系符合一元六

次多项式方程。王跃斌等^[8]的研究表明, 黑鳍棘鲷在一定水温范围内的排氨率随水温的上升而升高, 但水温超过某一值后, 其排氨率随水温的增加而下降, 其排氨率与水温的回归方程符合一元二次方程。在本研究中, 在水温 26.6~36.5℃, 3 种规格珍珠龙胆石斑鱼的排氨率均随水温的增加而呈现先降低后升高的趋势, 在 26.6℃时达到最大值, 分别为 47.74 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 、13.96 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 和 6.81 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$, 排氨率与温度的结果变化符合一元四次多项式方程。本研究结论与上述的研究结果有相似之处, 也有一些差异, 说明在珍珠龙胆石斑鱼养殖过程中, 需要参考珍珠龙胆石斑鱼排泄与水温相关关系函数进行日常的管理。

3.1.3 水温对珍珠龙胆石斑鱼 Q_{10} 值的影响 Q_{10} 可反映生物体内反应速率与温度的关系, 通常作为水生动物对温度调节能力的参考依据^[9, 19]。刘伟成等^[3]探讨了温度、盐度和体重对美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)幼鱼呼吸和排泄的影响, 结果显示, 美国红鱼幼鱼的呼吸 Q_{10} 范围为 1.108~4.206, 平均值为 1.975, 而排泄 Q_{10} 变化范围较小, 即 0.768~1.606, 平均值为 1.237。何亚等^[20]开展了温度对不同体重红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)幼鱼耗氧率和排氨率的影响研究, 结果表明, 幼鱼体重为(23.9±2.0) g 时, 耗氧率的 Q_{10} 和排氨率的 Q_{10} 分别为 1.376、1.719, 当幼鱼体重增至(43.8±1.6) g 时, 耗氧率的 Q_{10} 和排氨率的 Q_{10} 分别降至 0.512、1.21。闫茂仓等^[12]报道了温度及体重对鲆幼鱼耗氧率和排氨率的影响, 结果显示, 鲆幼鱼的呼吸 Q_{10} 范围为 1.128~1.884, 平均值为 1.415, 而排泄 Q_{10} 范围为 0.226~2.179, 平均值为 1.419。在本实验中, 不同水温条件下, 小、中、大 3 种规格珍珠龙胆石斑鱼的耗氧率 Q_{10} 和排氨率 Q_{10} 在 21.0~26.6℃时均达到最大, 分别为 91.80、7.82、6.88 和 1.75、1.30、1.16, 且均在 26.6~30.9℃时最小, 分别为 0.01、0.09、0.13 和 0.68、0.76、0.80。本实验研究结论与上述的研究结果存在一些差异, 引起这种差异的原因可能是不同生长阶段的实验鱼对温度的敏感程度不同^[9, 21]。

3.2 规格对珍珠龙胆石斑鱼呼吸、排泄的影响强度

呼吸与排泄是鱼类养殖容量、生物能量学研究的重要评价内容^[22]。耗氧率和排氨率是反映鱼类生理活动状态的重要指标, 鱼类规格(体重)在个

体发育过程中会有所变化, 从而引起耗氧量和排氨量的波动, 规格(体重)自然就成了鱼类耗氧率与排氨率的重要影响因子之一^[23]。研究表明, 体重对条石鲷(0.155~0.467 g)、星洲红鱼(red tilapia)(27.50~201.87 g)、浅色黄姑鱼(*Nibea coibor*)(3.38~28.74 g)、花鲢(*Hemibarbus maculatus*)(6.25~48.20 g)的耗氧率和排氨率的影响具有显著差异($P<0.05$), 且它们的耗氧率和排氨率随着体重的增加而减小^[24-27]。本研究结果表明, 同一水温条件下, 规格对珍珠龙胆石斑鱼的耗氧率和排氨率有显著影响($P<0.05$), 随着规格的增加, 耗氧率逐渐降低, 而排氨率在水温为 15.8℃、21.0℃时先升高后降低, 在 26.6℃、30.9℃和 36.5℃时呈现降低的变化趋势, 但总体是降低趋势。这些研究结果与前述报道较为接近。其原因可能在于, 在水生动物生长过程中, 肝胰脏、肾等维持生命活动的组织和器官的代谢活动随着脂肪和肌肉的累积, 会致使水生动物耗氧率、排氨率伴随规格增加而出现下降的现象^[24, 28]。

此外, 本研究还发现, 在水温为 15.8~36.5℃范围内, 珍珠龙胆石斑鱼耗氧率和排氨率与规格之间的关系式符合一元二次方程。何亚等^[20]对红鳍东方鲀幼鱼的研究表明, 耗氧率和排氨率与体重之间的关系符合幂函数关系。邓超准等^[25]研究指出, 星洲红鱼耗氧率、排氨率均与体重呈现负相关。徐钢春等^[27]报道, 花鲢耗氧率、排氨率均与体重、水温之间关系符合二元线性回归方程。这些报道与本研究结果存在着差异, 这可能是由于研究对象的种类、生活习性、栖息地理环境及营养特征不同造成的。

3.3 珍珠龙胆石斑鱼的供能物质探讨

O/N 比值一般作为探讨生物体呼吸和排泄过程中供能物质的指标, O/N 比值高低表示的是脂肪、蛋白质和碳水化合物为生物体供给能量的比值关系^[20]。研究结果显示, 若全部以蛋白质作为能源物质, O/N 比值在 7~10 变化^[29], 当以蛋白质和脂肪供能时, 其 O/N 比值为 24^[30], 而当完全以脂肪或碳水化合物供能时, 其 O/N 比值将无穷大^[31]。何亚等^[20]测得 15~25℃内红鳍东方鲀幼鱼的氧氮比值在 12.416~14.208 波动, 指出红鳍东方鲀幼鱼主要以蛋白质作为供能物质。刘建忠等^[32]研究表明, 河川沙

塘鳢(*Odontobutis obseura*)幼鱼的 O/N 比值为 14~21, 认为河川沙塘鳢幼鱼能量来源主要是蛋白质和脂肪。王波等^[33]阐述了水温对大西洋牙鲆(*Paralichthys dentatus*)O/N 比值的影响规律, 测得其平均 O/N 比值为 38.8, 认为大西洋牙鲆以蛋白质和脂肪作为主要能量物质。叶乐等^[9]研究表明, 在水温 23~29℃时克氏双锯鱼仔鱼总体 O/N 比值为 52~57, 表明克氏双锯鱼仔鱼代谢底物以脂肪和碳水化合物为主。刘伟成等^[3]测得 10~35℃和盐度 35 时美国红鱼幼鱼 O/N 比值分别为 820.930 和 124.806, 说明实验鱼主要以脂肪和碳水化合物为能源。在本研究中, 小、中、大 3 种规格 O/N 平均值变化范围分别为 21.535~113.541、15.713~32.193 和 12.097~27.094, 表明实验水温条件下小规格珍珠龙胆的供能物质为蛋白质、脂肪和碳水化合物, 而中、大规格珍珠龙胆的主要能量物质为蛋白质和脂肪。因此, 在珍珠龙胆石斑鱼养殖生产过程中, 在不同水温条件下, 为保证其生长速度, 需要根据珍珠龙胆石斑鱼不同规格阶段调整蛋白质、脂肪和碳水化合物的含量。

3.4 鱼类呼吸、排泄实验方法的分析

鱼类呼吸排泄的主要研究方法包括静水封闭式呼吸法、敞开流水式测定法和流水密闭式呼吸法等。唐道军等^[2]、刘伟成等^[3]、乔德亮等^[10]、闫茂仓等^[12]、邱成功等^[17]均采用静水封闭式呼吸实验法分别研究了黑鲷(*Girella melanichthys*)、美国红鱼、白斑狗鱼、鳊、褐菖鲉等鱼类呼吸代谢的变化规律。吴庆元等^[34]应用开放流水式实验方法探讨了盐度分别为 0、5、10、15、20 对幼体鲮(*Mugil cephalus*)耗氧率、排氨率的影响。梁华芳等^[5]对 (98.8±4.3) g 龙虎斑鱼, 李加儿等^[22]对 (0.21±0.03) g 鲮, 杨培民等^[35]对 1.4~11.8 g 鲇(*Silurus asotus*), Wardle 等^[36]对竹荚鱼(*Trachurus trachurus*)等的耗氧率和排氨率测定都参考了密闭流水式呼吸法。本研究采用密闭静水式实验方法分析了水温变化对不同规格珍珠龙胆石斑鱼呼吸和排泄的影响规律, 这与唐道军等^[2]对黑鲷、刘伟成等^[3]对美国红鱼、邱成功等^[17]对褐菖鲉和庄平等^[37]对中华鲟使用的研究方法一致, 说明静水封闭式呼吸法是鱼类呼吸和排泄研究中常用的方法。此外, 本研究在水温和规格对珍珠龙胆石斑鱼

呼吸排泄的影响强度、水温对珍珠龙胆石斑鱼 Q_{10} 值影响以及不同规格、不同水温条件下养殖对象供能物质分析等方面的研究结果, 与已有的研究结论^[3, 8-9, 12, 17, 20, 33]既有相接近之处, 又有一些不同, 说明本研究条件下所采用的静水封闭式呼吸法是一种可行的实验方法。

参考文献:

- [1] Zhou H Q, Pan Z L, Li S Q, et al. Metabolic energy of *Ctenopharyngodon idella*[J]. Journal of Fisheries of China, 1998, 22(1): 28-32. [周洪琪, 潘兆龙, 李世钦, 等. 草鱼代谢能的研究[J]. 水产学报, 1998, 22(1): 28-32.]
- [2] Tang D J, Xu S L, Ma B. Influence of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion of Juvenile *Girella melanichthys*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2013, 48(2): 256-260. [唐道军, 徐善良, 马斌. 温度对黑鲷幼鱼耗氧率和排氨率的影响[J]. 动物学杂志, 2013, 48(2): 256-260.]
- [3] Liu W C, Ji D W, Zhang S L, et al. Effects of different temperature, salinity and body weight on respiration and excretion of juvenile *Sciaenops ocellatus*[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2014, 26(6): 1478-1483. [刘伟成, 冀德伟, 张赛乐, 等. 温度、盐度和体重对美国红鱼幼鱼呼吸和排泄的影响[J]. 浙江农业学报, 2014, 26(6): 1478-1483.]
- [4] Chen W Q, Wu H X, Wu L, et al. Oxygen consumption rate and suffocation point of the juveniles for five species of mariculture fish[J]. Journal of Marine Sciences, 2015, 33(2): 76-81. [陈婉情, 吴洪喜, 吴亮, 等. 5 种海水养殖鱼类幼鱼的耗氧率及窒息点[J]. 海洋学研究, 2015, 33(2): 76-81.]
- [5] Liang H F, Huang D K, Wu Y H, et al. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀ × *Epinephelus lanceolatus*♂)[J]. Progress in Fishery Sciences, 2014, 35(2): 30-34. [梁华芳, 黄东科, 吴耀华, 等. 温度和盐度对龙虎斑耗氧率和排氨率的影响[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(2): 30-34.]
- [6] Yao X L, Cai Y, Zhang Z K, et al. Impacts of temperature on respiratory metabolism of juvenile *Plectropomus leopardus* Lacépède[J]. Journal of Tianjin Agricultural University, 2014, 21(1): 23-27. [姚学良, 蔡琰, 张振奎, 等. 温度对豹纹鳃棘鲈幼鱼呼吸代谢的影响[J]. 天津农学院学报, 2014, 21(1): 23-27.]
- [7] Chen G H, Zhang H Z, Chen X F. Study on the baby fish oxygen consumption of *Epinephelus fario*[J]. Natural Science Journal of Hainan University, 1999, 17(3): 259-264. [陈国华, 章华忠, 陈雪芬. 鲑点石斑鱼幼鱼耗氧率的研究[J]. 海南大学学报, 1999, 17(3): 259-264.]

- [8] Wang Y B, Sun Z, Yu F P, et al. Effects of temperature on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Acanthopagrus schlegelii*[J]. Marine Fisheries, 2007, 29(4): 375–379. [王跃斌, 孙忠, 余方平, 等. 温度对黑鳍棘鲷耗氧率与排氨率的影响[J]. 海洋渔业, 2007, 29(4): 375–379.]
- [9] Ye L, Yang S Y, Liu M, et al. Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of yellowtail clownfish *Amphiprion clarkii* (Pisces: Perciformes) during larval development[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4516–4524. [叶乐, 杨圣云, 刘敏, 等. 温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(14): 4516–4524.]
- [10] Qiao D L, Li S F, Ling Q F, et al. Study on oxygen consumption rate and suffocation point of white spot pike (*Esox lucius*)[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(2): 202–206. [乔德亮, 李思发, 凌去非, 等. 白斑狗鱼耗氧率和窒息点研究[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(2): 202–206.]
- [11] Du J S, Gao P, Liu L Z, et al. Effects of water temperature, body weight, feeding state and photoperiod on oxygen consumption rate of *Esox lucius*[J]. Freshwater Fisheries, 2011, 41(4): 45–49. [杜劲松, 高攀, 刘立志, 等. 温度、体重、摄食和光照对白斑狗鱼幼鱼耗氧率的影响[J]. 淡水渔业, 2011, 41(4): 45–49.]
- [12] Yan M C, Shan L Z, Shao X B, et al. Influences of temperature and weight on respiration and excretion of *Miichthys miiuy* juvenile[J]. 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[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(1): 44–49.]
- [13] Shen Q, Xu S L, Yan X J, et al. Effects of water temperature on metabolizability of starved *Lateolabrax japonicus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(3): 500–505. [沈勤, 徐善良, 严小军, 等. 温度对花鲈饥饿代谢的影响[J]. 中国水产科学, 2008, 15(3): 500–505.]
- [14] Chen X X, Xu S L, Shen P Y, et al. Impacts of temperature on metabolic, excretion rate and asphyxiation point of juvenile *Oplegnathus fasciatus*[J]. Journal of Marine Sciences, 2012, 30(1): 95–101. [陈宣雄, 徐善良, 沈庞幼, 等. 温度对条石鲷幼鱼代谢率、排泄率及窒息点的影响[J]. 海洋学研究, 2012, 30(1): 95–101.]
- [15] Wang M, Qiu S Y. Studies on excretion rate of endogenous exogenous and total nitrogen of juvenile *Plectorhynchus cinctus* Temminck[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2001, 20(3): 87–92. [王瑁, 丘书院. 花尾胡椒鲷幼鱼内、外性氮和总氮排泄率的研究[J]. 热带海洋学报, 2001, 20(3): 87–92.]
- [16] Song S X, Liu H B, Sun D J, et al. The asphyxiation point and oxygen consumption rate of *Acipenser schrenckii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1997, 4(5): 100–103. [宋苏祥, 刘洪柏, 孙大江, 等. 史氏鲟稚鱼的耗氧率和窒息点[J]. 中国水产科学, 1997, 4(5): 100–103.]
- [17] Qiu C G, Xu S L, Lin S Z, et al. Oxygen consumption and ammonia excretion rates of juvenile *Sebastiscus marmoratus* under different temperature treatments[J]. Journal of Applied Oceanography, 2014, 33(1): 84–89. [邱成功, 徐善良, 林少珍, 等. 不同温度条件下褐菖鲉幼鱼的耗氧率和排氨率[J]. 应用海洋学学报, 2014, 33(1): 84–89.]
- [18] Xian W W, Zhu X H. Effects of temperature and body weight on standard metabolism and endogenous nitrogen excretion of Mullet *Liza haematocheila* (T. et S.)[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2002, 32(3): 368–374. [线薇薇, 朱鑫华. 梭鱼标准代谢、内源氮排泄与体重和温度的关系[J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(3): 368–374.]
- [19] Spanopoulos-Hernandez M, Martinez-Palacios C A, Vanegas-Perez R C, et al. The combined effects of salinity and temperature on the oxygen consumption of juvenile shrimps *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874)[J]. Aquaculture, 2005, 244: 341–348.
- [20] He Y, Wang H, Wang W, et al. Influence of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion in tiger puffer *Takifugu rubripes* juveniles with various body weights[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2014, 29(5): 481–485. [何亚, 王华, 王伟, 等. 温度对不同体重红鳍东方鲀幼鱼耗氧率和排氨率的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(5): 481–485.]
- [21] Peck M A, Buckley L Y. Measurements of larval Atlantic cod (*Gadus morhua*) routine metabolism: temperature effects, diel differences and individual-based modeling[J]. Appl Ichthyol, 2008, 24 (2): 144–149.
- [22] 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*[J]. 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对鲻鱼幼鱼耗氧率、排氨率以及窒息点的影响[J]. 中国水产科学, 2014, 21(5): 954–962.]
- [23] Cao S H. Studies on respiratory metabolism and the histology of immune and olfactory organs in *Mugil cephalus*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013: 1–65. [曹守花. 鲻鱼呼吸代谢及免疫、嗅觉器官组织形态结构初步研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013: 1–65.]
- [24] Yan M C, Shan L Z, Xie Q L, et al. Influence of temperature, salinity and body weight on oxygen consumption and ammonia excretion of *Oplegnathus fasciatus* juvenile[J]. Advances in Marine Science, 2008, 26(4): 486–496. [闫茂仓,

- 单乐州, 谢起浪, 等. 温度、盐度及体重对条石鲷幼鱼耗氧率和排氨率的影响[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(4): 486–496.]
- [25] Deng C Z, Huang Y C, Chen H H, et al. Effects of body weight and temperature on oxygen consumption rate, ammonia excretion rate and asphyxiation point of red tilapia[J]. Freshwater Fisheries, 2015, 45(5): 88–93. [邓超准, 黄永春, 陈辉辉, 等. 体重和温度对星洲红鱼耗氧率、排氨率和窒息点的影响[J]. 淡水渔业, 2015, 45(5): 88–93.]
- [26] Li J E, Liu S R, Ou Y J, et al. A preliminary study on oxygen consumption rate, ammonia excretion rate and asphyxiation point of fry of Chu's croaker *Nibea coibor*[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2008, 30(5): 165–170. [李加儿, 刘士瑞, 区又君, 等. 浅色黄姑鱼幼鱼耗氧率、排氨率及窒息点的初步研究[J]. 海洋学报, 2008, 30(5): 165–170.]
- [27] Xu G C, Gu R B, Wen H B, et al. Effect of temperature on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Hemibarbus maculatus* Bleeker[J]. Journal of Lake Sciences, 2006, 18(4): 431–436. [徐钢春, 顾若波, 闻海波, 等. 温度对花鲢耗氧率和排氨率的影响[J]. 湖泊科学, 2006, 18(4): 431–436.]
- [28] Jiang Z H, Wang J, Tang Q S. Studies on physiological ecology of short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*) I. Effects of temperature, body weight and feeding state on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate[J]. Marine Fisheries Research, 1999, 20(1): 40–44. [姜祖辉, 王俊, 唐启升. 菲律宾蛤仔生理生态学研究: I. 温度、体重及摄食状态对耗氧率及排氨率的影响[J]. 海洋水产研究, 1999, 20(1): 40–44.]
- [29] Mayzaud P. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton IV. The influence of starvation on the metabolism and bio-chemical of some species[J]. Mar Biol, 1976, 37(1): 47–58.
- [30] Ikeda T. Nutritional ecology of marine zooplankton[J]. Mem Fac Fish Hokkaido Univ, 1974, 22: 1–77.
- [31] Conover R J, Corner E D S. Respiration and nitrogen excretion by some marine zooplankton in relation to their life cycles[J]. J Mar Biol Assn UK, 1968, 48: 49–75.
- [32] Liu J Z, Shi Y H, Deng P P, et al. Effect of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion of sleeper *Odontobutis potamophila* Juveniles[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(3): 273–276. [刘建忠, 施永海, 邓平平, 等. 温度对河川沙塘鳢幼鱼耗氧率和排氨率的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(3): 273–276.]
- [33] Wang B, Li J Q, Cao Z H, et al. A preliminary study on standard metabolism of juvenile summer flounder (*Paralichthys dentatus*)[J]. Advances in Marine Science, 2004, 22(1): 62–68. [王波, 李继强, 曹志海, 等. 大西洋牙鲆幼鱼标准代谢的初步研究[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(1): 62–68.]
- [34] Wu Q Y, Jiang M, Li L, et al. Effects of low salinity chronics stress on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of juvenile mullet (*Mugil cephalus*)[J]. Marine Environmental Science, 2014, 33(2): 177–181. [吴庆元, 蒋玫, 李磊, 等. 低盐度胁迫对鲻鱼(*Mugil cephalus*)幼鱼耗氧率和排氨率的影响[J]. 海洋环境科学, 2014, 33(2): 177–181.]
- [35] Yang P M, Liu G, Zhang T, et al. Oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile oriental sheatfish *Silurus asotus*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2009, 24(5): 470–474. [杨培民, 刘刚, 张涛, 等. 鲢幼鱼耗氧率与氨氮排泄率的初步研究[J]. 大连水产学报, 2009, 24(5): 470–474.]
- [36] Wardle C S, Soofiani N M, O'Neil F G, et al. Measurements of aerobic metabolism of a school of horse mackerel at different swimming speeds[J]. J Fish Biol, 1996, 49(5): 854–862.
- [37] Zhuang P, Xu B, Zhang L Z, et al. Effects of MS-222 and clove oil on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of juvenile Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(4): 612–618. [庄平, 徐滨, 章龙珍, 等. MS-222 和丁香酚对中华鲟幼鱼耗氧率与排氨率的影响[J]. 中国水产科学, 2009, 16(4): 612–618.]

Effects of temperature on respiration and excretion by different sizes of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀×*Epinephelus lanceolatus* ♂)

QIU Denggao^{1,2}, HUANG Zhongchi^{1,2}, ZHENG Leyun^{1,2}, WU Shuiqing^{1,2}, LIU Yinhua^{1,2}, QIU Fengyan³, ZHENG Junpiao³, CHEN Xinming³

1. Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013, China;

2. Key Laboratory of Cultivation and High-value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, Xiamen 361013, China;

3. Xiamen Xiaodeng Aquatic Science and Technology Co. Ltd., Xiamen 361104, China

Abstract: The effects of five water temperatures (15.8°C, 21.0°C, 26.6°C, 30.9°C, 36.5°C) on respiration and excretion in three sizes (27.4 g±0.8 g, 276.5 g±17.3 g, and 575.4 g±18.8 g) of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀×*Epinephelus lanceolatus*♂) were investigated using ecological methods in the laboratory. The experimental results showed that both water temperature and body weight had significant effects on oxygen consumption and ammonia excretion rates of hybrid grouper ($P<0.05$). Under controlled laboratory conditions, oxygen consumption and ammonia excretion rates increased initially in all sizes of hybrid grouper, then decreased and increased again as water temperature was increased. These rates were highest at 26.6°C, such as (1.510±0.124) mg/(g·h), (0.306±0.007) mg/(g·h), and (0.161±0.010) mg/(g·h) and (47.739±21.048) µg/(g·h), (13.956±1.783) µg/(g·h), and (6.811±1.882) µg/(g·h), respectively. The regression equations between oxygen consumption rate and ammonia excretion rate and water temperature were quadratic ($R^2=1.000$). Oxygen consumption and ammonia excretion rates within the temperature range of 15.8–26.5°C decreased roughly with an increase in body weight at the same water temperature, and the regression equations for oxygen consumption rate mg/(g·h) and ammonia excretion rate µg/(g·h) and body weight were quadratic ($R^2=1.000$). The Q_{10} values for the oxygen consumption and ammonia excretion rates in all sizes of hybrid grouper peaked at water temperatures of 21.0–26.6°C and were at their minimum at 26.6–30.9°C. The mean O/N ratios of the small- and medium- and large-sized hybrid grouper were 21.535, 15.713, and 12.097 to 113.541, 32.193, and 27.094, respectively, indicating that protein, fat, and carbohydrate were consumed by the small-sized hybrid grouper for energy, and that protein and fat were consumed by medium- and large-sized hybrid grouper.

Key words: *Epinephelus fuscoguttatus* ♀×*Epinephelus lanceolatus* ♂; water temperature; body weight; oxygen consumption rate; ammonia excretion rate; Q_{10} ; O/N ratio

Corresponding author: HUANG Zhongchi. E-mail: hzc@fjta.com

ZHENG Leyun. E-mail: lyzheng69@sina.com