

温度、pH 及体重对低盐水体下斜带石斑鱼幼鱼耗氧率与排氨率的影响

黄建盛 陈刚* 张健东 汤保贵 王忠良 周晖

广东海洋大学水产学院 湛江 524088

摘要: 在低盐水体 (盐度 12) 条件下, 利用实验生态学方法采用间歇式流水呼吸仪测定了不同温度 (21℃、24℃、27℃、30℃及 33℃)、pH (6.5、7.0、7.5、8.0 及 8.5) 及体重 (均值: 15.64 g、35.80 g、65.67 g 和 95.93 g) 对斜带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*) 幼鱼耗氧率 (M_{O_2}) 和排氨率 (M_{TAN}) 的影响。结果表明, 温度对斜带石斑鱼幼鱼 M_{O_2} 和 M_{TAN} 有显著性影响 ($P < 0.05$), 随着温度的上升均呈现上升的变化, 二者与温度 (T) 之间的关系均可以用线性函数来拟合 ($M_{O_2} = 6.0826T - 8.9704, R^2 = 0.9127$; $M_{TAN} = 0.2248T - 0.7731, R^2 = 0.7792$)。在实验温度范围, 呼吸温度系数 Q_{10} 和排泄温度系数 Q_{10} 均值分别为 1.51 和 1.54, 而且在水温 27℃和 30℃时最小, 这表明斜带石斑鱼适宜生长的温度范围为 27 ~ 30℃。pH 对斜带石斑鱼幼鱼 M_{O_2} 和 M_{TAN} 有显著性影响 ($P < 0.05$), 随 pH 上升均呈现先升后降的变化, 二者与 pH 之间的关系均可以用二次函数来拟合 ($M_{O_2} = -15.241A_{pH}^2 + 234.98A_{pH} - 737.42, R^2 = 0.7888$; $M_{TAN} = -1.1477A_{pH}^2 + 18.073A_{pH} - 65.369, R^2 = 0.7557$)。体重对斜带石斑鱼幼鱼 M_{O_2} 和 M_{TAN} 有显著性影响 ($P < 0.05$), 随着体重的增加均呈下降的变化, 与体重 (W) 之间关系均可以用幂函数来拟合 ($M_{O_2} = 310.61 W^{-0.1972}, R^2 = 0.8653$; $M_{TAN} = 9.9167W^{-0.2043}, R^2 = 0.8257$), 而耗氧量 (R_{O_2}) 和排氨量 (R_{TAN}) 随体重的增加均呈上升的变化, 与体重之间的关系均可以用幂函数来拟合 ($R_{O_2} = 0.3106W^{0.8028}, R^2 = 0.9907$; $R_{TAN} = 0.0099W^{0.7957}, R^2 = 0.9863$)。幼鱼的氧氮比均值在本实验温度范围为 25.90, 在本实验 pH 范围其为 28.65, 在本实验体重范围其为 28.19。这提示斜带石斑鱼幼鱼在低盐水体养殖主要以蛋白质和脂肪为能量来源。

关键词: 斜带石斑鱼; 耗氧率; 排氨率; 低盐水体

中图分类号: Q955 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2016) 06-1038-11

Effects of Temperature, pH and Body Wet Weigh on Oxygen Consumption Rate and Ammonia Excretion Rate of Orange-spotted Grouper *Epinephelus coioides* Juveniles Cultured in Low-salt Water

基金项目 广东高校优秀青年创新人才培养计划项目 (No. 2013LYM-0038), 广东省海洋渔业科技推广专项项目 [No. A2010-08D04, A2010004-016(c)], 广东省海洋经济创新发展区域示范专项 (No.GD2012-A02-003), 广东海洋大学科研启动经费 (No. E15183);

* 通讯作者, E-mail: cheng@gdou.edu.cn;

第一作者介绍 黄建盛, 男, 博士; 研究方向: 水产经济动物养殖生理生态学; E-mail: huangjs@gdou.edu.cn.

收稿日期: 2016-01-15, 修回日期: 2016-05-13 DOI: 10.13859/j.cjz.201606012

HUANG Jian-Sheng CHEN Gang* ZHANG Jian-Dong TANG Bao-Gui
WANG Zhong-Liang ZHOU Hui

Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China

Abstract: Orange-spotted Grouper (*Epinephelus coioides*) which inhabits subtropical and tropical areas, has become a very popular species of marine teleost currently being cultured in China. Metabolic rate is the most fundamental biological rate as it represents the rate of energy uptake, transformation and allocation. Oxygen consumption is a widely studied indicator of metabolic rate, and measurement of oxygen consumption rate is often used to examine energy utilization and stress in aquatic animals. The aim of the present study is to investigate the effects of temperature (21 °C, 24 °C, 27 °C, 30 °C and 33 °C), pH (6.5, 7.0, 7.5, 8.0 and 8.5) and body wet weight (mean values: 15.64 g, 35.80 g, 65.67 g and 95.93 g) on oxygen consumption rate (M_{O_2}), ammonia excretion rate (M_{TAN}) of Orange-spotted Grouper juveniles cultured in low-salt water (salinity 12) by the intermittent flow respirometry system with ecological methods in laboratory. Data were analyzed by using the one-way ANOVA, followed by Duncan test. All analyses were performed with a significance level of $P < 0.05$. The results showed that temperature strongly affected both M_{O_2} and M_{TAN} . The M_{O_2} and M_{TAN} increased significantly ($P < 0.05$) with an increase in temperature from 21 °C to 33 °C (Table 1). The linear equation between the M_{O_2} , M_{TAN} and temperature (T) were established ($M_{O_2} = 6.0826T - 8.9704$, $R^2 = 0.9127$; $M_{TAN} = 0.2248T - 0.7731$, $R^2 = 0.7792$) (Fig. 2). Over the entire experimental temperature range (21 - 33 °C), the respiration temperature coefficient Q_{10} and excretion temperature coefficient Q_{10} were 1.51, 1.54, respectively, and the lowest values were found between 27 and 30 °C. The optimal temperature for the juvenile lied between 27 and 30 °C (Table 2). Both M_{O_2} and M_{TAN} were significantly affected by pH ($P < 0.05$) (Table 1), being increased first then decreased with pH increase. The relationship between M_{O_2} , M_{TAN} and pH was modeled by a quadratic equation ($M_{O_2} = -15.241A_{pH}^2 + 234.98A_{pH} - 737.42$, $R^2 = 0.7888$; $M_{TAN} = -1.1477A_{pH}^2 + 18.073A_{pH} - 65.369$, $R^2 = 0.7557$) (Fig. 2). Both M_{O_2} and M_{TAN} decreased significantly with increased body wet weight ($P < 0.05$) (Table 1), and their relationship with body wet weight (W) could be represented by power equations ($M_{O_2} = 310.61W^{-0.1972}$, $R^2 = 0.8653$; $M_{TAN} = 9.9167W^{-0.2043}$, $R^2 = 0.8257$). The oxygen consumption (R_{O_2}) and ammonia excretion (R_{TAN}) increased with increase in body mass, and their relationship with body wet weight was modeled by power equations ($R_{O_2} = 0.3106W^{0.8028}$, $R^2 = 0.9907$; $R_{TAN} = 0.0099W^{0.7957}$, $R^2 = 0.9863$). The averages of oxygen-nitrogen ratio (O : N) at different temperatures, pH values and body wet weights were 25.90, 28.65 and 28.19, respectively (Table 1), which indicated that Orange-spotted Grouper juvenile cultured in low-salt water utilized protein-lipid dominated metabolism.

Key words: Orange-spotted Grouper, *Epinephelus coioides*; Oxygen consumption rate; Ammonia excretion rate; Low-salt water

鱼类的能量代谢是鱼类生物能量学研究的重要领域, 受到体重(何亚等 2014)、性别(杨晗等 2012)等内在因素和温度(唐道军等 2013)、盐度(Shi et al. 2011)、pH(强俊等 2011)、光照(黄国强等 2014)、放养密度(王

刚等 2010)、流速(王刚等 2011)等外在因素的共同影响。耗氧率和排氮率在很大程度上反映鱼类新陈代谢的规律及生理状况(何亚等 2014), 研究环境因子对鱼类能量代谢的影响, 有助于了解鱼类对外界环境条件的适应能力。

温度是影响鱼类耗氧率和排氨率的重要水环境因子之一(李加儿等 2014),明确温度与耗氧率和排氨率的相关性,可以了解鱼类的能量需求、代谢规律和生理活动水平。一些鱼类耗氧率随温度升高呈现先升后降的变化趋势,如鲮(*Mugil cephalus*)幼鱼(李加儿等 2014)、卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)幼鱼(王刚等 2011),而另一些鱼类随温度升高呈现升高的变化,如鲢鱼(*Müichthys müiuy*)(闫茂仓等 2007)、条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)幼鱼(闫茂仓等 2008)。pH 作为水环境的一个重要的指标,能直接影响鱼类的生长发育和生理活动(强俊等 2011)。研究资料表明,随着 pH 的升高,耗氧率的变化不明显,如卵形鲳鲹幼鱼(王刚等 2011),也有研究表明呈现先升后降的变化,如尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)幼鱼(强俊等 2011)。体重是影响鱼类耗氧率及排氨率的主要因子之一(何亚等 2014),耗氧率随着体重增加而下降,与体重之间的关系可用幂函数描述,如红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)幼鱼(何亚等 2014)、胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)(许勤智等 2014)、鲢鱼(闫茂仓等 2007)

目前,斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)作为广东、海南、福建等地区海水网箱养殖的主要品种之一,正在蓬勃发展着,并成为沿海地区经济增长的支柱产业。然而,近年来养殖业者为了避免沿海地区的恶劣环境因素对鱼类生长造成的风险,逐渐发展池塘低盐度水体养殖并取得成功。然而在低盐水体下斜带石斑鱼幼鱼能量代谢尚未见有相关报道,本实验研究温度、pH 及体重对低盐水体下斜带石斑鱼呼吸和排泄的影响,有助于了解其在低盐水体的生理状态,丰富低盐养殖模式斜带石斑鱼生理生态学研究并从能量学角度提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 实验用鱼来源与驯化

实验斜带石斑鱼为广东海洋大学鱼类实验

室在东海岛生物研究基地繁育的幼鱼,选取健康、活力好的幼鱼 600 尾充氧运回实验室。在实验室水槽中暂养,每个水槽 20 尾,暂养期间,持续充气,自然光照,每天 8:00 时和 17:00 时各饱食投喂 1 次。溶解氧保持在 6 mg/L 以上,pH 7.8 ~ 8.3,氨氮小于 0.01 mg/L,自然光照,暂养期间使用自然海水,其盐度为 28 ~ 31。暂养 2 周幼鱼摄食正常后,每个水槽中开始加入经曝气后的自来水,以每天 2 ~ 4 个盐度单位逐渐降低水体盐度至 12 左右,并保持在此盐度下养殖一周。低盐水体适应后,5 个水槽中的幼鱼进行温度驯化,5 个水槽中的幼鱼进行 pH 驯化。水体温度采用渐变方式进行,每天温度控制升降在 2℃ 范围之内,用电子恒温棒和冰袋控温,驯化至相应温度后并保持此温度饲养一周。水体 pH 采用渐变方式调节,用盐酸(0.2 mol/L)和氢氧化钠(0.2 mol/L)调节,驯化至相应 pH 后保持此 pH 条件下饲养一周。采用 pH 计(PHS-3C, 上海精密仪器仪表有限公司)测定 pH 值,使用手持式盐度计(HSS-100, 上海精密仪器仪表有限公司)测定盐度。每天换水一次,并尽量保持水体环境因子一致,换水量根据水质情况而定。

实验所用的饲料为东丸石斑鱼专用 C₆ 配合饲料(广东越群海洋生物研究开发有限公司),营养成分为,水分 9.01%,粗蛋白 52.94%,粗脂肪 12.215,粗灰分 14.51%,粗纤维 3.0% 以下,钙 2.0% 以下,磷 1.8% 以下。

1.2 呼吸实验装置

采用间歇性流水式呼吸仪(AQUARE SP, Qubit Systems Inc., Canada, 以下简称呼吸仪)(图 1)测定耗氧率。此呼吸仪使用过程包括测定、水体交换及等待三个阶段,在测定阶段,呼吸室完全封闭,可根据需要调节测定时间,通常最长以水中溶氧量下降小于测定前水体溶氧的 10% 为基础。测量阶段结束后启动水体交换阶段,更新呼吸室内的水以保持溶解氧饱和度,接着就是短暂的滞后等待阶段。如此往复,实现长时间实时测定。溶解氧探头(OxyGuard

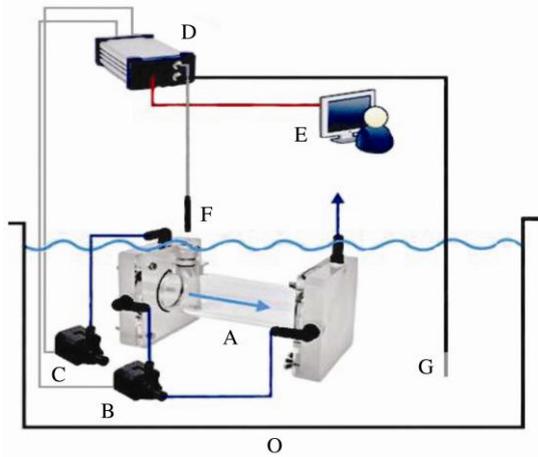


图 1 间歇性流水呼吸系统原理结构图

Fig. 1 The principle map of intermittent flow respirometry

A. 呼吸室; B. 循环泵; C. 冲水泵; D. 数据采集器; E. 计算机;
F. 氧探头; G. 温度探头; O. 实验外环境。

A. Chamber; B. Recirc pump; C. Flush pump; D. Data collector; E. Computer; F. Oxygen probe; G. Temperature probe; O. Ambient tank.

Probes, 德国) 安装在呼吸室内, 通过数据采集器连接到计算机, 在计算机软件 (RESP-EDU) 可直接读出耗氧率的数据。

1.3 实验方法

1.3.1 实验设计 温度实验共设计 21℃、24℃、27℃、30℃及 33℃ 5 个温度梯度, 每个梯度测定 6 尾鱼; 其他环境因子条件为, pH 7.8 ± 0.23, 盐度 12.2 ± 0.2, 幼鱼体重 (23.67 ± 2.17) g, 光照强度 (2 000 ± 200) lx, 水槽水体溶解氧 (6.13 ± 0.32) mg/L。pH 实验共设计 6.5、7.0、7.5、8.0 及 8.5 5 个 pH 梯度, 每个梯度测定 6 尾鱼; 其他环境因子条件为, 温度 (29.5 ± 0.3) °C, 盐度 12.2 ± 0.2, 幼鱼体重 (34.87 ± 3.14) g, 光照强度 (2 000 ± 200) lx, 水槽水体溶解氧 (6.03 ± 0.22) mg/L。体重实验共设计 4 个体重梯度, 幼鱼体重为 (15.64 ± 0.49) g、(35.80 ± 0.79) g、(65.67 ± 1.15) g 和 (95.93 ± 1.84) g, 每个梯度测定 6 尾鱼; 其他环境因子条件为, pH 7.7 ± 0.23, 盐度 12.2 ± 0.2, 温度 (29.5 ± 0.3) °C, 光照强度 (2000 ± 200) lx,

水槽水体溶解氧 (6.13 ± 0.32) mg/L。

1.3.2 耗氧率测定 实验前, 将驯化至相应实验设置条件后暂养的实验鱼禁食 3 d, 以确保胃排空。禁食后随机取实验鱼称量湿重后, 轻轻地转入相应条件呼吸室内, 待鱼稳定适应 30 min 左右, 鳃盖均匀张合后, 进行耗氧率测定并采集水样用于测定氨氮含量。从取鱼称重到转入呼吸室过程时间在 5 min 内, 而且尽量避免实验鱼反应过激。每个实验因子梯度测定 6 尾鱼, 有 4 套呼吸装置, 其中 3 套呼吸装置放置 1 尾鱼, 剩下的 1 套呼吸装置不放置鱼, 作为空白对照组。耗氧率数据直接由呼吸仪在线测定读取, 至少读取 5 个数据取平均值作为该尾鱼耗氧率。呼吸仪持续测定每尾鱼耗氧率, 每次需要时间 13 ~ 19 min, 包括水体交换时间 6 ~ 9 min, 测定时间 6 ~ 9 min, 等待时间 1 min。

1.3.3 排氮率测定 用于测定排氮率的水样采集时间与耗氧率测定时间相对应。在呼吸室进水时间点 (测起始氨氮含量) 和出水时间点 (测终末氨氮含量) 迅速取 10 ml 水样用于氨氮测定。氨氮测定利用 Test Kits 氨氮测试盒 (默克公司, 原理: 水杨酸分光光度法) 采用分光光度计 (6600, UV-VIS, 德国) 在 340 nm 下读取数据。一般而言, 氨态氮是氮排泄的主要物质, 故不考虑其他形式的氮化合物。排氮率使用以下公式计算, $M_{\text{TAN}} = \frac{V \cdot \Delta A_{\text{TAN}}}{\Delta T W}$, 式中, V 是呼吸室的有效体积 (L), ΔA_{TAN} 是在测定期间氨氮质量浓度的变化量 (mg/L), Δt 测定时间 (h), W 为幼鱼湿重 (kg)。

利用测定的耗氧率 (M_{O_2})、排氮率 (M_{TAN}) 数据计算氧氮比 (O/N), $O/N = 14M_{\text{O}_2}/16M_{\text{TAN}}$ 。

$$\text{温度系数 } Q_{10} \text{ 的计算, } Q_{10} = \left(\frac{K_1}{K_2} \right)^{10/(T_1 - T_2)},$$

式中, K_1 和 K_2 分别为温度 T_1 和 T_2 时的耗氧率或排氮率。

耗氧量 (R_{O_2})、排氮量 (R_{TAN}) 的计算, $R_{\text{O}_2} = M_{\text{O}_2} \cdot W$, $R_{\text{TAN}} = M_{\text{TAN}} \cdot W$, 式中, M_{O_2}

为耗氧率 [mg/(kg · h)], M_{TAN} 为排氮率 [mg/(kg · h)], W 为幼鱼湿重 (kg)。

1.4 统计分析

数据通过 SPSS17.0 统计软件进行分析, 采用 One-way ANOVA 检验温度、pH 及体重对耗氧率和排氮率影响的显著性, 用 Duncan 检验法进行多重比较, 描述性统计值使用平均值 ± 标准差 (Mean ± SD) 表示, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 温度对幼鱼能量代谢的影响

低盐环境下斜带石斑鱼幼鱼在 5 个实验温度下的耗氧率、排氮率测定结果见表 1。温度对幼鱼耗氧率和排氮率均有显著性影响 ($P < 0.05$), 但温度对氧氮比均影响不显著 ($P > 0.05$)。低盐环境下斜带石斑鱼幼鱼耗氧率和排氮率与温度的相关性见图 2。随着温度的上升, 斜带石斑鱼幼鱼的耗氧率和排氮率均呈上升, 呈正相关的线性函数关系。在实验温度范围,

呼吸 Q_{10} 和排泄 Q_{10} 均值分别为 1.51 和 1.54, 而且在水温 27 ~ 30℃ 时最小 (表 2)。

2.2 pH 对幼鱼能量代谢的影响

低盐水体中斜带石斑鱼幼鱼在 5 个实验 pH 下的耗氧率、排氮率测定结果见表 1。pH 对幼鱼耗氧率、排氮率均有显著性影响 ($P < 0.05$), pH 对幼鱼的氧氮比影响显著 ($P < 0.05$)。低盐水体下的斜带石斑鱼幼鱼的耗氧率、排氮率与 pH 的相关性见图 3。随着 pH 的上升, 斜带石斑鱼幼鱼的耗氧率、排氮率均呈先上升后下降的趋势, 呈二项式函数关系。

2.3 体重对幼鱼能量代谢的影响

低盐水体下 4 个实验体重斜带石斑鱼幼鱼的耗氧率、排氮率测定结果见表 1。体重对幼鱼耗氧率、排氮率均有显著性影响 ($P < 0.05$), 体重对氧氮比影响不显著 ($P > 0.05$)。

低盐水体下的斜带石斑鱼幼鱼的耗氧率、排氮率与体重的相关性见图 4。随着体重的上升, 斜带石斑鱼幼鱼的耗氧率、排氮率均呈下

表 1 低盐水体下不同实验组斜带石斑鱼幼鱼耗氧率和排氮率比较

Table 1 The comparison of oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of Orange-spotted Grouper juveniles at different experimental groups under low-salinity culture

因子 Factor	梯度 Gradient	耗氧率 (mg/(kg · h)) Oxygen consumption rate	排氮率 (mg/(kg · h)) Ammonia excretion rate	氧氮比 O/N ratio
温度 (°C) Temperature	21	116.38 ± 4.51 ^a	3.94 ± 0.48 ^a	26.13 ± 1.21
	24	144.17 ± 3.93 ^b	4.89 ± 0.66 ^b	26.21 ± 1.53
	27	158.42 ± 6.91 ^c	5.36 ± 0.55 ^c	26.13 ± 1.32
	30	172.54 ± 7.28 ^d	5.85 ± 0.49 ^c	26.00 ± 1.05
	33	193.21 ± 5.57 ^e	6.77 ± 0.41 ^d	25.05 ± 0.61
pH	6.5	144.50 ± 7.93 ^a	3.56 ± 0.18 ^a	35.60 ± 1.00 ^c
	7.0	159.67 ± 5.56 ^b	4.56 ± 0.44 ^b	30.88 ± 1.29 ^b
	7.5	170.46 ± 9.37 ^c	6.10 ± 0.46 ^d	24.50 ± 0.38 ^a
	8.0	165.58 ± 7.25 ^b	5.63 ± 0.35 ^c	25.84 ± 0.88 ^a
	8.5	157.46 ± 6.52 ^b	5.22 ± 0.30 ^c	26.43 ± 1.24 ^a
体重 (g) Body wet weight	15.64 ± 0.49	179.29 ± 10.53 ^c	5.59 ± 0.48 ^c	28.09 ± 1.28
	35.80 ± 0.79	156.12 ± 8.08 ^b	4.90 ± 0.27 ^b	27.90 ± 1.10
	65.67 ± 1.15	135.29 ± 6.25 ^a	4.20 ± 0.31 ^a	28.28 ± 2.19
	95.93 ± 1.84	126.54 ± 8.60 ^a	3.89 ± 0.26 ^a	28.49 ± 2.16

在同一实验组, 同列数据上标注字母不同表示有显著差异 ($P < 0.05$)。

At the same experimental group, data within the same column with different superscript are significantly different from each other at $P < 0.05$.

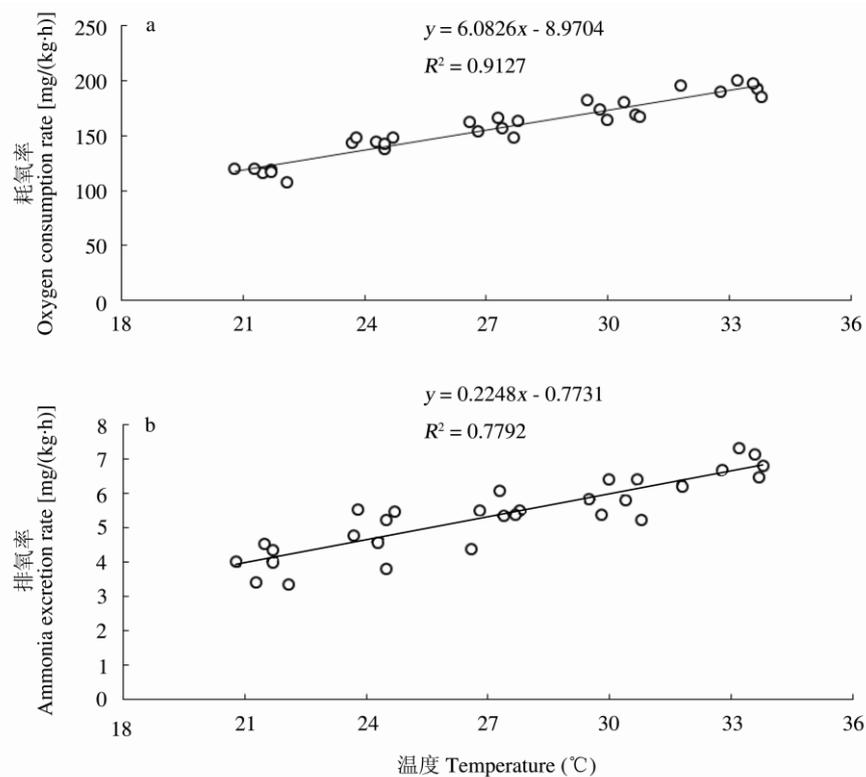


图 2 低盐水体下斜带石斑鱼幼鱼耗氧率 (a)、排氨率 (b) 与温度的相关性 ($n = 6, P < 0.05$)

Fig. 2 Relationship between oxygen consumption rate (a), ammonia excretion rate (b) with temperature of Orange-spotted Grouper juveniles under low-salinity environment ($n = 6, P < 0.05$)

表 2 不同温度下低盐水体斜带石斑鱼幼鱼呼吸和排泄的温度系数 Q_{10} 值

Table 2 Temperature coefficient Q_{10} values of respiration and excretion of Orange-spotted Grouper juveniles at different temperatures under low-salinity culture

温度 (°C) Temperature	温度系数 Q_{10} Temperature coefficient Q_{10}	
	呼吸 Respiration	排泄 Excretion
21 ~ 24	2.04	2.05
21 ~ 27	1.67	1.67
21 ~ 30	1.55	1.55
21 ~ 33	1.53	1.57
24 ~ 27	1.37	1.36
24 ~ 30	1.35	1.35
24 ~ 33	1.38	1.44
27 ~ 30	1.33	1.34
27 ~ 33	1.39	1.48
30 ~ 33	1.46	1.63

降的变化, 分别与体重呈负相关的幂函数关系。低盐水体下的斜带石斑鱼幼鱼的耗氧量、排氨量与体重的相关性见图 5。随着体重的上升, 幼鱼的耗氧量、排氨量呈上升的变化, 分别与体重呈正相关的幂函数关系。

3 讨论

3.1 温度对斜带石斑鱼呼吸和排泄的影响

鱼类是变温动物, 其生长发育、新陈代谢受环境温度的影响。研究资料表明, 在适宜的温度范围, 温度越高促使鱼体升温, 从而使得鱼体组织细胞内酶活力增强, 生理代谢水平增高, 其耗氧率、排氨率必然会随着温度的升高而增大。当温度超过鱼类生长的适宜温度范围上限, 将会抑制机体酶活性, 引起生理功能紊乱, 表现出能量代谢率降低, 即耗氧率和排

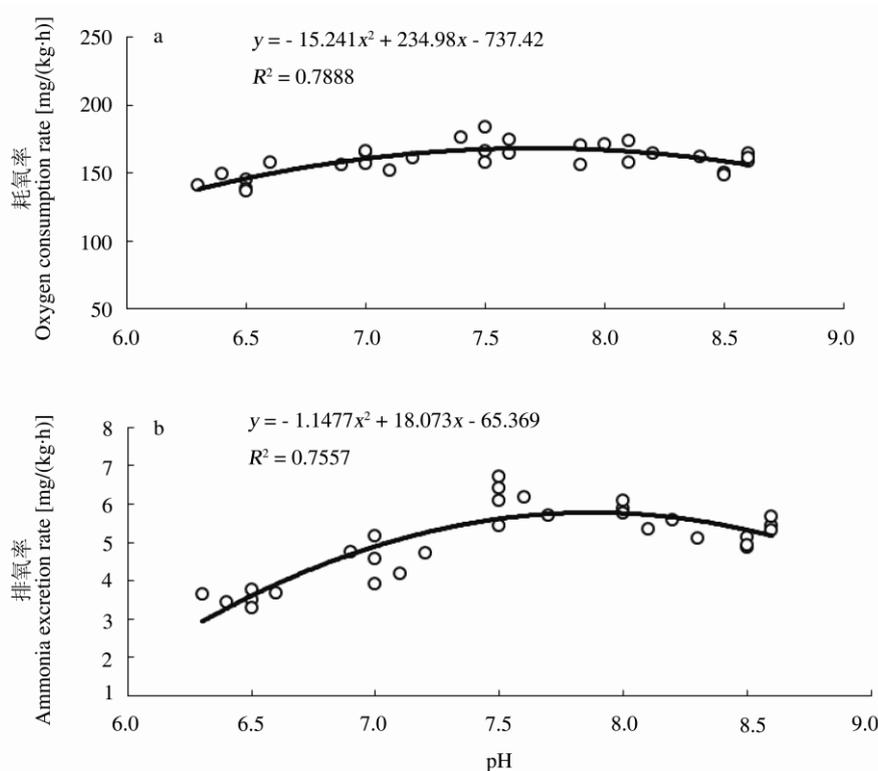


图3 低盐水体下斜带石斑鱼幼鱼耗氧率 (a)、排氨率 (b) 与 pH 的相关性 ($n = 6$, $P < 0.05$)

Fig. 3 Relationship between oxygen consumption rate (a), ammonia excretion rate (b) with pH of Orange-spotted Grouper juveniles under low-salinity environment ($n = 6$, $P < 0.05$)

氨率下降 (王刚等 2011)。鲮鱼 (李加儿等 2014)、牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) (张兆琪等 1997)、黑鳍棘鲷 (*Acanthopagrus schlegeli*) (王跃斌等 2008) 呼吸代谢符合这一规律。本研究结果表明, 在温度 21 ~ 33°C 范围, 低盐水体下斜带石斑鱼幼鱼耗氧率和排氨率随着温度升高而升高, 没有出现下降, 这与上述规律存在差异。结果与花鲈 (*Lateolabrax japonicus*) (沈勤等 2008)、日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*) (卢迈新等 1999)、卵形鲳鲹 (李金兰等 2014) 呼吸代谢相类似。分析其原因一是本实验设置的温度范围较窄, 没有超过斜带石斑鱼适宜温度范围的上限, 二是低盐与温度对斜带石斑鱼幼鱼能量代谢可能产生互作效应。有研究表明, 温度与盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼能量代谢有互作效应 (王辉等 2012), 认为随着温度

的升高, 鳃丝 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 活力会随之变化, 从而增强离子通透性, 渗透压调节能力提高, 能量代谢也会发生相应变化。温度与盐度对斜带石斑鱼幼鱼能量代谢是否存在互作效应有待进一步研究。

温度系数 Q_{10} 值反映鱼类体内生理反应速率与温度的相关性, 常用来指示其对温度的敏感程度, 是能量代谢指标之一 (Spanopoulos-Hernández et al. 2005)。在鱼类可耐受温度范围, 当鱼类恢复或者接近其在一定温度波动范围的代谢节点时, 鱼类将会表现出良好的生理可塑性, 能保持良好的机体内稳态 (Dalvi et al. 2009), 此时 Q_{10} 值会降低, 这意味着鱼类减少代谢耗能并将更多能量用于生长 (李金兰等 2014)。本实验结果中, 斜带石斑鱼幼鱼呼吸 Q_{10} 均值为 1.51, 排泄 Q_{10} 均

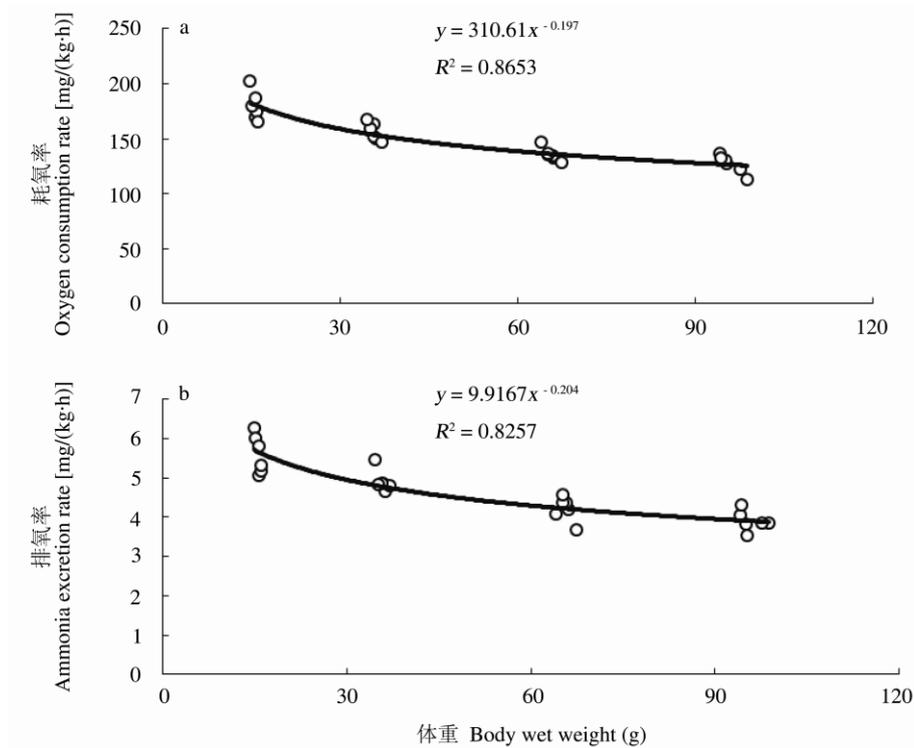


图 4 低盐水体下斜带石斑鱼幼鱼耗氧率 (a)、排氨率 (b) 与体重的相关性 ($n = 6$, $P < 0.05$)

Fig. 4 Relationship between oxygen consumption rate (a), ammonia excretion rate (b) with body wet weight of Orange-spotted Grouper juvenile under low-salinity environment ($n = 6$, $P < 0.05$)

值 1.54, 各温度梯度下呼吸 Q_{10} 与其相应温度下排泄 Q_{10} 非常接近, 显示出代谢和排泄存在着紧密的相关性。此外, 当水温由 27℃ 升至 30℃ 时, Q_{10} 最小, 这说明其代谢在 27 ~ 30℃ 内受温度影响较小, 能较好维持体内稳态并将更多的能量用于生长。这与卵形鲳鲹 (李金兰等 2014)、条石鲷 (*Oplegnathus fasciatus*) (陈宣雄等 2012)、河川沙塘鳢 (*Odontobutis obseura*) (刘建忠等 2013) 等研究结果一致。

3.2 pH 对斜带石斑鱼呼吸和排泄的影响

水体 pH 对鱼类耗氧率的影响, 目前存在两种不同观点。第一种观点认为, 耗氧率随水体 pH 升高而升高, 当 pH 超过适宜范围, 耗氧率则随之下降。在鲍鱼 (*Haliotis rubra*) (Harris et al. 1999)、杂交鲟 (*Huso huso*♀ × *Acipenser baerii*♂) (吴常文等 2005) 的研究结果支持此观点。第二种观点认为, 水体 pH 在一定范围

内变化, 对耗氧率无显著性影响。如, 日本黄姑鱼 (*Nibea japonica*) (柴学军等 2009)、鲑鱼 (闫茂仓等 2007)、卵形鲳鲹 (王刚等 2011) 的研究结果支持第二种观点。这反映了鱼类随着生活环境、生态习性及发育阶段不同对水体酸碱调节能力存在着差异。本实验中发现, pH 对低盐环境斜带石斑鱼幼鱼的耗氧率有显著影响, 随 pH 的升高而上升, pH 超过 7.5 则开始下降, 说明适宜 pH 范围内, 维持生命代谢的组织器官的代谢酶活性增强, 基础代谢旺盛, 表现为耗氧率升高的现象, 而 pH 超过 7.5 可能会引起水中一些化学物质含量的变化, 阻碍鱼类的呼吸, 表现为耗氧率下降, 但下降的幅度较小, 是否会引起代谢紊乱, 还有待进一步研究证实。

3.3 体重对斜带石斑鱼呼吸和排泄的影响

本研究中, 低盐水体下斜带石斑鱼幼鱼的

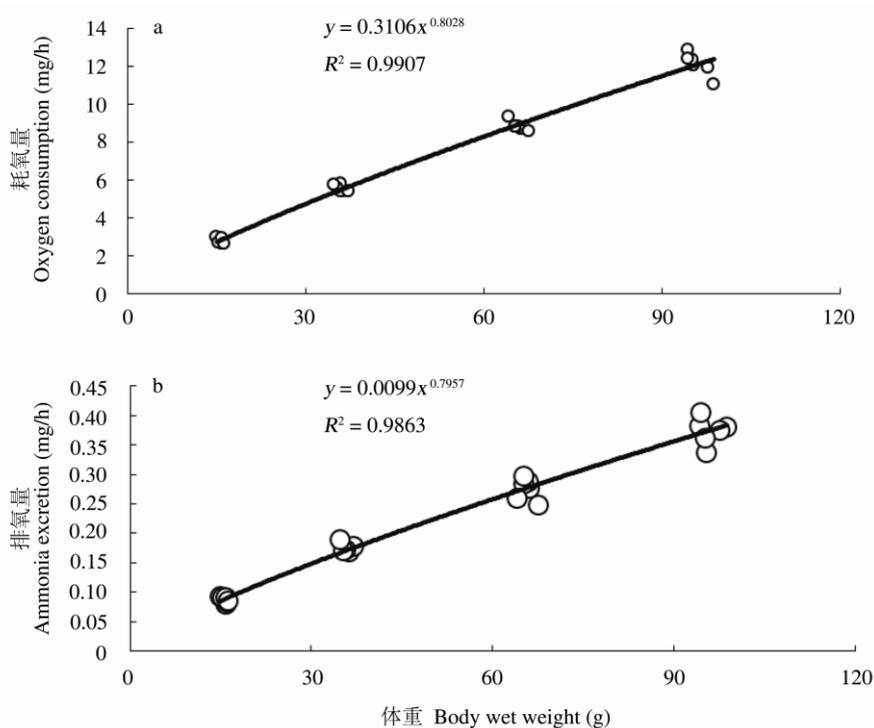


图 5 低盐水体下斜带石斑鱼幼鱼耗氧量 (a)、排氨量 (b) 与体重的相关性 ($n = 6$, $P < 0.05$)

Fig. 5 Relationship between oxygen consumption (a), ammonia excretion (b) with body wet weight of Orange-spotted Grouper juvenile under low-salinity environment ($n = 6$, $P < 0.05$)

耗氧率、排氨率与体重之间均呈负相关幂函数关系, 这与其他鱼类的研究结果 (闫茂仓等 2007) 相一致。国内外许多学者研究认为, 鱼类耗氧量或排氨量与体重呈正相关关系, 并已经证实鱼类耗氧量或排氨量与体重之间呈幂函数关系, 即可表示为 $Y = aW^b$, 其中, a 、 b 为常数, b 又称为体重指数, 其大小反应耗氧量或排氨量对体重的敏感程度。 b 值通常 0.7 ~ 0.9, 大多数鱼类的 b 值都接近 0.8 (Cai et al. 1992, Grøttum et al. 1998)。本研究发现, 低盐水体下的斜带石斑鱼幼鱼耗氧量与体重之间的体重系数 b 值为 0.8028, 排氨量与体重之间的体重系数 b 值为 0.7957, 这与上述的发现相类似, 与大眼梭鲈 (*Stizostedion vitreum*) (Cai et al. 1992)、油鲱 (*Brevoortia tyrannus*) (Hettler 1976)、尖吻鲈 (*Lates calcarifer*) (李加儿 1991) 的研究结果相似, 在崔奕波 (1989) 所报道的

b 值范围 (0.53 ~ 0.94) 之内。对于鱼类耗氧量与体重之间呈幂函数变化规律的解释为, 鱼体直接维持生命的器官如肾、肝胰脏、脑等的新陈代谢高于非直接维持生命的组织如肌肉、脂肪等, 在鱼体的生长发育过程中, 肌肉和脂肪等逐渐积累, 从而引起个体的增大而单位重量的耗氧率和排氨率下降的现象 (Zhuang 2005); 其次, 仔、稚、幼鱼正处在生长发育阶段, 生长发育迅速, 代谢旺盛, 对水体溶解氧需求高, 因此耗氧率也随之增加, 随着鱼体生长, 各器官组织发育速度缓慢, 故耗氧率也随着降低 (强俊等 2011)。

3.4 能源物质分析

鱼类机体所需要的能量主要来源于食物中的蛋白质、脂肪和碳水化合物在体内经过一系列的生物氧化过程, 以高能磷酸键的形式储存于体内, 供机体利用, 最后转化为最终的代谢

产物 CO₂、水和含氮物质。目前, 常用氧氮比和呼吸商指标来反映水产动物能源物质利用情况。氧氮比作为一种代谢系数可用来估计动物机体能源物质的来源, 反映机体内 3 种营养物质(蛋白质、脂肪和碳水化合物)提供能量的比例, 值小表明蛋白质供能的比例越大, 值越大表明由脂肪和碳水化合物供能比例越大。Mayzaud (1976) 指出, 氧氮比值为 7 ~ 10 表明动物机体完全由蛋白质氧化分解供能; Ikeda (1974) 指出, 氧氮比值约为 24 表明动物机体由蛋白质和脂肪氧化供能; Conner 等 (1968) 认为, 如果主要由脂肪或碳水化合物供能, 氧氮比值将变为无穷大。在尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) (王辉等 2012)、日本囊对虾 (*Penaeus japonicus*) (Chen et al. 1993)、真蛸 (*Octopus vulgaris*) (Katsanevakis et al. 2005)、尖紫蛤 (*Soletellina acuta*) (黄洋等 2013) 水产动物上的研究均证实, 氧氮比值基本符合上述变化规律, 该值的变化与机体承受的压力密切关系, 可以作为生物对环境适应程度的一项指标 (Widdows 1978)。硬骨鱼类在不适宜其特定品种的盐度环境中, 往往会倾向于利用蛋白或脂肪作为供能物质来源。如普通锯盖鱼 (*Centropomus undecimalis*) 广盐性海水鱼类, 在盐度 35 时其代谢能源物质为蛋白、脂肪和碳水化合物混合, 而在低盐度下则倾向于蛋白质氧化供能 (Gracia-Lopez et al. 2006)。肥锯盖鱼 (*C. parallelus*) 生活于极低的半咸水或淡水里, 其在盐度 30 的环境中则依赖脂肪代谢供能 (da Silva Rocha et al. 2005)。本研究中, 低盐环境下的斜带石斑鱼不同温度下氧氮比为 25.05 ~ 26.21, 不同 pH 下氧氮比为 24.50 ~ 35.60, 这说明低盐环境下的斜带石斑鱼主要以蛋白质和脂肪为能源。本研究中, 假设蛋白质代谢的终产物全部为氨氮, 而事实上, 鱼类蛋白质代谢产物还包括尿素、肌酸酐等 (Randall et al. 1987), 因此, 实际的蛋白质代谢量应高于计算结果。

参 考 文 献

- Cai Y, Summerfelt R C. 1992. Effects of temperature and size on oxygen consumption and ammonia excretion by walleye. *Aquaculture*, 104(1): 127-138.
- Chen J C, Lai S H. 1993. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia-N excretion of juvenile *Penaeus japonicus* Bate. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 165(2): 161-170.
- Conner R J, Corner E D S. 1968. Respiration and nitrogen excretion by some marine zooplankton in relation to their life cycles. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 48(1): 49-75.
- Da Silva Rocha A J, Gomes V, van Ngan P, et al. 2005. Metabolic demand and growth of juveniles of *Centropomus parallelus* as function of salinity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 316(2): 157-165.
- Dalvi R S, Pal A K, Tiwari L R, et al. 2009. Thermal tolerance and oxygen consumption rates of the catfish *Horabagrus brachysoma* (Günther) acclimated to different temperatures. *Aquaculture*, 295(1): 116-119.
- Gracia-López V, Rosas-Vázquez C, Brito-Pérez R. 2006. Effects of salinity on physiological conditions in juvenile common snook *Centropomus undecimalis*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 145(3): 340-345.
- Grøttum J A, Sigholt T. 1998. A model for oxygen consumption of Atlantic salmon (*Salmo salar*) based on measurements of individual fish in a tunnel respirometer. *Aquacultural Engineering*, 17(4): 241-251.
- Harris J O, Maguire G B, Edwards S J, et al. 1999. Effect of pH on growth rate, oxygen consumption rate, and histopathology of gill and kidney tissue for juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevis* donovan and blacklip abalone, *Haliotis rubra* leach. *Journal of Shellfish Research*, 18(2): 611-619.
- Hettler W F. 1976. Influence of temperature and salinity on routine metabolic rate and growth of young Atlantic menhaden. *Journal of Fish Biology*, 8(1): 55-65.
- Ikeda T. 1974. Nutritional ecology of marine zooplankton. *Memoirs*

- of the Faculty of Fisheries Hokkaido University, 22(1): 1–97.
- Katsanevakis S, Stephanopoulou S, Miliou H, et al. 2005. Oxygen consumption and ammonia excretion of *Octopus vulgaris* (Cephalopoda) in relation to body mass and temperature. *Marine Biology*, 146(4): 725–732.
- Mayzaud P. 1976. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton. IV. The influence of starvation on the metabolism and the biochemical composition of some species. *Marine Biology*, 37(1): 47–58.
- Randall D J, Wright P A. 1987. Ammonia distribution and excretion in fish. *Fish Physiology and Biochemistry*, 3(3): 107–120.
- Shi Y H, Zhang G Y, Liu J Z, et al. 2011. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption of tawny puffer *Takifugu flavidus* juvenile. *Aquaculture Research*, 42(2): 301–307.
- Spanopoulos-Hernández M, Martínez-Palacios C A, Vanegas-Pérez R C, et al. 2005. The combined effects of salinity and temperature on the oxygen consumption of juvenile shrimps *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874). *Aquaculture*, 244(1): 341–348.
- Widdows J. 1978. Physiological indices of stress in *Mytilus edulis*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 58(1): 125–142.
- Zhuang S H. 2005. The influence of body size and water temperature on metabolism and energy budget in *Laternula marilina* Reeve. *Aquaculture Research*, 36(8): 768–775.
- 柴学军, 胡则辉, 徐君卓, 等. 2009. 盐度和 pH 对日本黄姑鱼幼鱼耗氧率和排氨率的影响. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 28(2): 146–150.
- 陈宣雄, 徐善良, 沈庞幼, 等. 2012. 温度对条石鲷幼鱼代谢率, 排泄率及窒息点的影响. *海洋学研究*, 30(1): 95–101.
- 崔奕波. 1989. 鱼类生物能量学的理论与方法. *水生生物学报*, 13(4): 369–383.
- 何亚, 王华, 王伟, 等. 2014. 温度对不同体重红鳍东方鲀幼鱼耗氧率和排氨率的影响. *大连海洋大学学报*, 29(5): 481–485.
- 黄国强, 李洁, 唐夏, 等. 2014. 光照周期对褐牙鲆幼鱼生长, 能量分配及生化指标的影响. *水产学报*, 38(1): 109–118.
- 黄洋, 黄海立, 林国游, 等. 2013. 盐度, pH 和规格对尖紫蛤 (*Soletellina acuta*) 耗氧率和排氨率的影响. *海洋与湖沼*, 44(1): 120–125.
- 李加儿, 曹守花, 区又君, 等. 2014. 温度, 盐度和 pH 对鳎幼鱼耗氧率, 排氨率以及窒息点的影响. *中国水产科学*, 21(5): 954–962.
- 李加儿. 1991. 尖吻鲈幼鱼耗氧率初步研究. *海洋学报*, 13(3): 424–430.
- 李金兰, 陈刚, 张健东, 等. 2014. 温度, 盐度对卵形鲳鲹呼吸代谢的影响. *广东海洋大学学报*, 34(1): 30–36.
- 刘建忠, 施永海, 邓平平, 等. 2013. 温度对河川沙塘鳢幼鱼耗氧率和排氨率的影响. *大连海洋大学学报*, 28(3): 273–276.
- 卢迈新, 肖学铮, 吴锐全, 等. 1999. 不同生长状况下日本鳎耗氧率的初步测定. *中国水产科学*, 6(2): 120–121.
- 强俊, 王辉, 李瑞伟, 等. 2011. 酸碱胁迫对不同体重尼罗罗非鱼幼鱼能量代谢的影响. *应用生态学报*, 22(9): 2438–2446.
- 沈勤, 徐善良, 严小军, 等. 2008. 温度对花鲈饥饿代谢的影响. *中国水产科学*, 15(3): 500–505.
- 唐道军, 徐善良, 马斌. 2013. 温度对黑鲷幼鱼耗氧率和排氨率的影响. *动物学杂志*, 48(2): 256–260.
- 王刚, 李加儿, 区又君, 等. 2010. 卵形鲳鲹幼鱼耗氧率和排氨率的初步研究. *动物学杂志*, 45(3): 116–121.
- 王刚, 李加儿, 区又君, 等. 2011. 环境因子对卵形鲳鲹幼鱼耗氧率和排氨率的影响. *动物学杂志*, 46(6): 80–87.
- 王辉, 强俊, 王海贞, 等. 2012. 温度与盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼能量代谢的联合效应. *中国水产科学*, 19(1): 51–61.
- 王跃斌, 孙忠, 余方平, 等. 2008. 温度对黑鳍棘鲷耗氧率与排氨率的影响. *海洋渔业*, 29(4): 375–379.
- 吴常文, 朱爱意, 赵向炯. 2005. 海水养殖杂交鲟耗氧量, 耗氧率和窒息点的研究. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 24(2): 100–104.
- 许勤智, 周波, 陈娜娜, 等. 2014. 温度和体重对胭脂鱼种耗氧率的影响. *广东海洋大学学报*, 34(1): 37–41.
- 闫茂仓, 单乐州, 邵鑫斌, 等. 2007. 温度及体重对晚鱼幼鱼耗氧率和排氨率的影响. *热带海洋学报*, 26(1): 44–49.
- 闫茂仓, 单乐州, 谢起浪, 等. 2008. 温度, 盐度及体重对条石鲷幼鱼耗氧率和排氨率的影响. *海洋科学进展*, 26(4): 486–496.
- 杨晗, 曹振东, 付世建. 2012. 繁殖 III 期不同性别鲫鱼 (*Carassius auratus*) 的运动能力及能量代谢的比较. *生态学杂志*, 31(10): 2606–2612.
- 张兆琪, 李吉清. 1997. 牙鲆鱼耗氧率, 氮排泄率与体重及温度的关系. *青岛海洋大学学报: 自然科学版*, 27(4): 483–489.