

文章编号: 1674 - 5566(2011)01 - 0050 - 06

## 温度对暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼瞬时耗氧速率的影响

施永海<sup>1,2</sup>, 张根玉<sup>1</sup>, 刘建忠<sup>1</sup>, 朱雅珠<sup>1</sup>, 徐嘉波<sup>1</sup>, 朱晓东<sup>1</sup>

(1. 上海市水产研究所, 上海 200433; 2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

**摘要:** 采用密闭呼吸室法,研究了不同温度(11、15、19、23、27和31℃)下暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼(约20g)单位体重瞬时耗氧速率的变化规律,及其与溶氧水平的关系。结果表明:暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼瞬时耗氧速率( $V$ )均随实验时间( $t$ )增加而降低,且呈现良好的幂函数负增长相关( $V = a t^b, r^2 > 0.98, P < 0.01$ );在适宜溶氧范围内,暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼属于顺应呼吸型, $V$ 随溶氧水平降低而降低,但在临近临界点时,暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼耗氧率均表现为“调节管理”模式,即幼鱼用增加呼吸频率来保持一定的耗氧率,以维持基本的生命活动,而 $V$ 与溶氧水平( $DO$ )呈现良好的二次函数关系( $r^2 > 0.95, p < 0.01$ );暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼耗氧率均随水温升高而升高,呈现良好的直线增长相关( $r^2 > 0.95, P < 0.01$ );在常规池塘养殖水温范围内,暗纹东方鲀幼鱼的耗氧率比菊黄东方鲀高;暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼 $Q_{10}$ 值分别是2.84和2.65。建议在暗纹东方鲀和菊黄东方鲀的实际养殖和运输过程中,当溶氧水平低于3 mg/L时,应及时启动急救措施。

**研究亮点:** 目前有关东方鲀属鱼类的耗氧率研究较少,而且都没有涉及温度和溶氧水平对东方鲀呼吸代谢的影响。但温度和溶解氧是影响鱼类代谢的主要因子。本研究以暗纹东方鲀、菊黄东方鲀幼鱼(约20g)为试验对象,分析了在不同水温下其瞬时耗氧速率的变化规律,及其与溶氧水平的关系,为东方鲀属鱼类的生理生态研究和人工养殖提供了科学依据。

**关键词:** 暗纹东方鲀; 菊黄东方鲀; 温度; 瞬时耗氧速率; 溶氧水平

**中图分类号:** S 965.3

**文献标识码:** A

暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*)、菊黄东方鲀(*Takifugu flavidus*)属鲀形目,鲀科,东方鲀属,俗称河豚、浜鱼等<sup>[1]</sup>。它们肉质鲜美,营养丰富,从其肝脏、性腺中提取的河豚毒素(TTX)是一种很强的神经毒素。在医学、生理学上是研究阻滞 $Na^+$ 通道的重要药品,临床上小剂量使用可以治疗神经系统疾病和减轻晚期癌痛等<sup>[2]</sup>。因此东方鲀具有较高的食用和药用价值。由于受环境恶化和滥渔酷捕等诸多因素的影响,东方鲀自然资源量急剧下降<sup>[2]</sup>。为满足市场的需求和弥补资源的衰退,近年来各地大力发展东方鲀的繁殖和养殖<sup>[2-4]</sup>,且获得了较高的经济效益。但由于东方鲀缺氧浮头初期不易察觉,在养殖中频遭缺氧浮头死亡,给养殖户造成重大的经济损失。因

此了解和掌握东方鲀的耗氧特性,有助于指导养殖生产。

鱼类大多数代谢活动都和氧的利用有关,耗氧率直接或间接地反映着新陈代谢规律、生理和生活状况<sup>[5]</sup>。耗氧率作为一种新陈代谢指标而被广泛研究<sup>[6]</sup>,耗氧率的测定经常被用来检验水生动物能量的利用和应激,进而来确定其最佳的环境条件<sup>[6]</sup>。因此,对鱼类耗氧率的测定不仅在鱼类呼吸生理学研究上有重要意义,在鱼类养殖上也有应用价值。有关鱼类的耗氧率的研究有不少的报道<sup>[6-13]</sup>,但有关东方鲀属鱼类的耗氧率研究相对较少<sup>[14]</sup>,而且这些研究都没有涉及温度和溶氧水平对东方鲀呼吸代谢的影响。但温度和溶解氧是影响鱼类代谢的主要因子<sup>[15]</sup>。本研

收稿日期: 2010-07-02 修回日期: 2010-09-24

基金项目: 上海市科委重大科技攻关项目(10391900700)

作者简介: 施永海(1975-),男,高级工程师,主要从事水产养殖及繁殖生物学方面的研究。Tel:021-57162574, E-mail: yonghais@

究以暗纹东方鲀、菊黄东方鲀幼鱼(约 20 g)为试验对象,分析了在不同水温下其瞬时耗氧速率的变化规律,及其与溶氧水平的关系,以期为东方鲀属鱼类的生理生态研究和人工养殖提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

试验于 2008 年 11 月 - 12 月在上海市水产研究所苗种技术中心(地处杭州湾北部沿岸)8#

车间进行。受试暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼均系该中心人工繁养,用水族箱(83.0 cm × 53.5 cm × 49.0 cm)在各梯度水温下驯养 15 d 以上,按常规投喂人工配合饲料,试验前停食 2 d。各组试验鱼基本情况见表 1。试验用水:暗纹东方鲀用水为当地河水(淡水);菊黄东方鲀用水为当地河口区纳入的半咸水(盐度为 9.8),试验用水均经过暗沉淀 48 h、消毒、曝气、以及 200 目筛绢网过滤。

表 1 各组试验鱼的平均体长和体重

Tab.1 The average body length and body weight of fish for each group n = 10, mean ± SD

组别	水温梯度 (°C)	暗纹东方鲀		菊黄东方鲀	
		体长(cm)	体重(g)	体长(cm)	体重(g)
1	11	8.57 ± 0.26 <sup>a</sup>	20.88 ± 1.30 <sup>a</sup>	7.80 ± 0.43 <sup>a</sup>	20.29 ± 2.59 <sup>a</sup>
2	15	8.38 ± 0.24 <sup>a</sup>	19.82 ± 0.81 <sup>a</sup>	8.01 ± 0.28 <sup>ab</sup>	20.91 ± 1.62 <sup>a</sup>
3	19	8.46 ± 0.28 <sup>a</sup>	20.30 ± 1.19 <sup>a</sup>	7.99 ± 0.61 <sup>ab</sup>	19.89 ± 3.48 <sup>a</sup>
4	23	8.48 ± 0.17 <sup>a</sup>	20.36 ± 0.72 <sup>a</sup>	8.11 ± 0.23 <sup>ab</sup>	19.97 ± 1.03 <sup>a</sup>
5	27	8.57 ± 0.30 <sup>a</sup>	20.20 ± 1.69 <sup>a</sup>	8.33 ± 0.40 <sup>b</sup>	21.93 ± 2.72 <sup>a</sup>
6	31	8.62 ± 0.23 <sup>a</sup>	20.43 ± 1.12 <sup>a</sup>	8.08 ± 0.41 <sup>b</sup>	20.19 ± 1.96 <sup>a</sup>

注:表中同列相同小写字母表示差异不显著( $P > 0.05$ )。

### 1.2 方 法

测定瞬时耗氧速率采用密闭呼吸室法,参照臧维玲等<sup>[16]</sup>,并作适当改进。容器为 40 L 塑料桶,测定时桶内注入 38 L 实验用水,将桶置于恒温水浴箱中(±0.3 °C),待水温恒定于目标值后,桶内放入 10 尾受试鱼,并连续充气,插入采样导管和玻璃棒,待受试鱼适应新环境 1 h 后,停止充气,以 1.5 cm 厚的液体石蜡封盖液面,随即通过采样导管抽取水样,试验中根据桶内水体含氧量与受试鱼活动情况适时取样。试验过程中仔细观察、记录受试鱼的活动与死亡情况。鱼体侧卧或仰卧,但鳍、鳃盖能扇动、口的下颌能张动,视为昏迷;鳍、鳃盖及口停止活动,且用玻璃棒触动无反应,视为死亡。采用溶氧仪(YSI-58; Yellow Spring Instruments, Yellow Spring, OH, USA)<sup>[10]</sup>测定溶解氧,使用前进行校准。根据各次取样时间、水体中溶氧量的减少量以及受试鱼的体重求得单位体重的鱼的耗氧量、瞬时耗氧速率及其与时间以及溶氧量之间的相关。

### 1.3 数 据 处 理

采用 Excel 和 SPSS 12.0 处理数据及图表。

用 Oneway ANOVA 对各组受试鱼的体长和体重数据差异进行方差分析,Duncan 检验进行多重比较,以  $P < 0.05$  为差异显著;以  $P < 0.01$  建立各回归曲线。

用  $Q_{10}$  来评估温度对氧代谢影响的强度,计算公式<sup>[13]</sup>为

$$Q_{10} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{10/(T_2 - T_1)} \quad (1)$$

式中:  $Q_{10}$  为热能效系数;  $V_1$  和  $V_2$  分别为幼鱼在  $T_1$  和  $T_2$  温度下的耗氧速率。

## 2 结 果 与 分 析

### 2.1 单位体重瞬时耗氧速率与时间的相关

在各温度下,暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼单位体重的耗氧量( $W_0$ , mg/g)与相应时间( $t$ , h)均呈良好的乘幂函数增长相关:  $W_0 = a_1 t^{b_1}$  ( $r^2 > 0.98, P < 0.01$ ) (表 2)。

对上述各组方程求一阶导数( $dW_0/dt$ ),得到不同温度下,暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼单位体重的瞬时耗氧速率 [ $V$ , mg/(g·h)] 与相应时间( $t$ , h)的关系:  $V = a_2 t^{b_2}$  (表 2)。

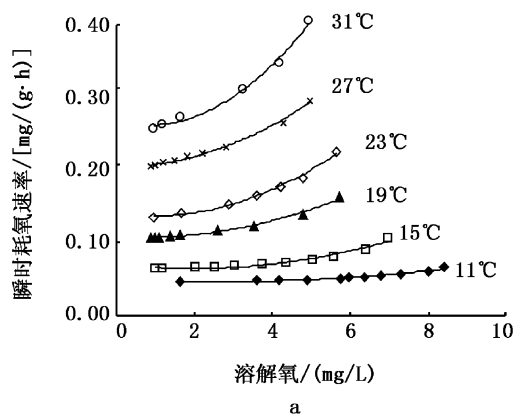
表2 暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼的耗氧量与时间、瞬时耗氧速率与时间的关系

Tab.2 The relationship of  $W_0$  to  $t$  and  $V$  to  $t$  of juveniles of obscure puffer and tawny puffer

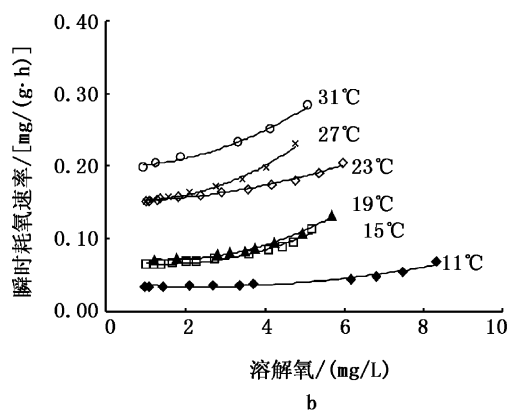
品种	水温(°C)	取样数	$W_0 = a_1 t^{b_1}, (r^2)$	$V = a_2 t^{b_2}, (r^2)$
暗纹东方鲀	11	11	$W_0 = 0.0725 t^{0.8797}, (0.9860)$	$V = 0.0638 t^{-0.1203}, (0.9860)$
	15	11	$W_0 = 0.1263 t^{0.7956}, (0.9993)$	$V = 0.1005 t^{-0.2044}, (0.9993)$
	19	9	$W_0 = 0.1995 t^{0.7817}, (0.9969)$	$V = 0.1559 t^{-0.2183}, (0.9969)$
	23	7	$W_0 = 0.2382 t^{0.7785}, (0.9838)$	$V = 0.1854 t^{-0.2215}, (0.9838)$
	27	9	$W_0 = 0.3134 t^{0.7998}, (0.9934)$	$V = 0.2507 t^{-0.2002}, (0.9934)$
	31	6	$W_0 = 0.3664 t^{0.8035}, (0.9917)$	$V = 0.2944 t^{-0.1965}, (0.9917)$
菊黄东方鲀	11	11	$W_0 = 0.0875 t^{0.7831}, (0.9974)$	$V = 0.0685 t^{-0.2169}, (0.9974)$
	15	12	$W_0 = 0.1241 t^{0.7881}, (0.9948)$	$V = 0.0978 t^{-0.2119}, (0.9948)$
	19	9	$W_0 = 0.1901 t^{0.6951}, (0.9977)$	$V = 0.1321 t^{-0.3049}, (0.9977)$
	23	12	$W_0 = 0.2452 t^{0.8296}, (0.9951)$	$V = 0.2034 t^{-0.1704}, (0.9951)$
	27	8	$W_0 = 0.2506 t^{0.7925}, (0.9967)$	$V = 0.1986 t^{-0.2075}, (0.9967)$
	31	6	$W_0 = 0.3049 t^{0.8186}, (0.9911)$	$V = 0.2496 t^{-0.1814}, (0.9911)$

## 2.2 瞬时耗氧速率与溶氧水平的关系

将瞬时耗氧速率[ $V, \text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ]与相应水样中的溶氧水平( $DO, \text{mg}/\text{L}$ )作散点图(图1),统计回归发现: $V$ 与 $DO$ 呈良好的二次函数线性相关



( $r^2 > 0.95, P < 0.01$ ),在各温度梯度下,暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼的单位体重瞬时耗氧速率均随溶氧升高而升高(图1)。

图1 暗纹东方鲀(a)和菊黄东方鲀(b)幼鱼瞬时耗氧速率( $V$ )与溶解氧( $DO$ )的关系Fig.1 The relationship of the dissolved oxygen ( $DO$ ) and the instantaneous oxygen consumption rate ( $V$ ) of obscure puffer (a) and tawny puffer (b) juveniles at different temperatures

## 2.3 温度对瞬时耗氧速率的影响

按照我国渔业用水标准,养殖用水应在连续的24 h内有16 h的溶氧水平大于 $5 \text{ mg}/\text{L}$ 。将这个值代入 $DO$ 与 $V$ 的相关方程,可得各温度组的暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼的单位体重瞬时耗氧速率[ $V, \text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ],再将 $V$ 与温度( $T, ^\circ\text{C}$ )作回归分析,发现 $V$ 与 $T$ 存在良好的直线线性相关( $r^2 > 0.95, p < 0.01$ ),暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼瞬时耗氧速率均随水温升高而升高(图2),而两条直线的相交点在 $15.2^\circ\text{C}$ 附近。在 $15.2 \sim 31^\circ\text{C}$ ,暗纹东方鲀幼鱼耗氧率高于菊黄东方鲀,而在 $11 \sim 15.2^\circ\text{C}$ ,则相反。从 $11^\circ\text{C}$ 到 $31^\circ\text{C}$ ,

暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼 $Q_{10}$ 值都在 $2.5 \sim 3.0$ 范围内(表3)。

## 3 讨论

### 3.1 耗氧率与溶氧的关系

溶氧是影响鱼类呼吸重要的环境因子<sup>[15]</sup>。通常,鱼类会通过增加鳃的活动量来应对溶氧水平的降低<sup>[17]</sup>,但鳃的活动也要消耗能量,从而占用了用于其他新陈代谢(比如:生长)的能量<sup>[18]</sup>。在一定溶氧水平范围内,鱼类耗氧率和溶氧的关系可以确定为“顺应呼吸型”<sup>[19]</sup>,即在这个范围内,耗氧率随溶氧水平降低而降低。但是,当溶

氧降低到临界点附近时,许多鱼类的耗氧率不会随溶氧水平的降低而降低,而是会做出相应的生理应激反应(如:增加呼吸频率<sup>[20]</sup>)来保持一定的耗氧率,以维持最低的生命活动,这就是所谓的“调节管理”<sup>[21]</sup>。当溶氧水平继续降低,溶氧水平不能满足鱼类维持最低生命活动的需求时,从而造成鱼类的死亡<sup>[15]</sup>。本研究中,暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼的耗氧率随着溶氧水平的降低而明显降低,特别是在高温组;但溶氧降低到1~2 mg/L附近时,幼鱼耗氧率降低不明显,基本维持在一定范围内,说明暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼溶氧的临界点在1~2 mg/L附近。同时这也符合鱼类耗氧率与溶氧水平关系的一般规律,如:CLAIREAUX 和 LAGARDÈRE<sup>[8]</sup>研究发现欧洲海鲈(*Dicentrarchus labrax*)的耗氧率随着溶氧水平的降低而降低;江敏等<sup>[12]</sup>发现异育银鲫呼吸属顺应型。

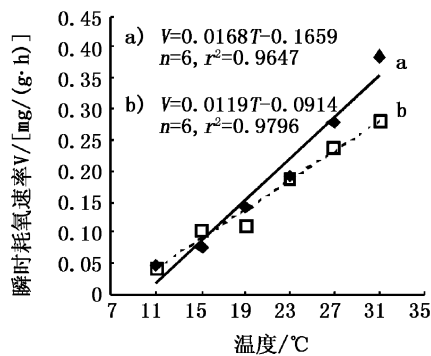


图2 暗纹东方鲀(a)和菊黄东方鲀(b)幼鱼瞬时耗氧速率(V)与温度(T)的关系

Fig.2 The relationship of temperature (T) and the instantaneous oxygen consumption rate (V) of obscure puffer (a) and tawny puffer (b) juveniles

表3 暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼在不同温度范围下的 $Q_{10}$ 值

Tab.3 Mean values of  $Q_{10}$  coefficients in obscure puffer and tawny puffer juveniles in different temperature ranges

温度范围 (°C)	$Q_{10}$ 值	
	暗纹东方鲀	菊黄东方鲀
11~15	3.14	10.72
15~19	4.77	1.22
19~23	2.18	3.54
23~27	2.56	1.82
27~31	2.23	1.54
11~31	2.84	2.65

值得注意的是,在实际池塘养殖和运输过程,一般来说,鱼类往往会采用浮头的方式来应对较低溶氧水平,以维持基本的生命活动。通常,鱼类在缺氧的情况下会游到水面上来获取氧气,养殖管理者很容易发现鱼类缺氧现象,并能及时启动应对措施。但是,据笔者在养殖生产中的观察,暗纹东方鲀和菊黄东方鲀在缺氧的情况下往往是采用暗浮头的方式(鱼游到水面以下10~20 cm处)。因此,养殖管理者很难发现,等发现的时候,已经过了最佳的急救时间,从而造成大量的死亡。所以本研究认为暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼在实际养殖和运输过程中,溶氧水平低于3 mg/L时,应及时启动应急措施。

### 3.2 温度对耗氧率的影响

温度是影响鱼类呼吸最重要的环境因子<sup>[15]</sup>。鱼类是变温动物,体温随外界水温的变化而改变,体温的高低直接影响着体内生化反应速度和生理活动强度。在适宜温度范围内,随着水温升高鱼类维持生命的脑、心、肝等重要组织器官的活性增强,各种酶活性提高,鱼类活动强度增大,基础代谢旺盛,表现出耗氧率升高现象<sup>[11]</sup>。对许多鱼类如褐菖鲈(*Sebastes marmoratus*)<sup>[7]</sup>、欧洲海鲈(*Dicentrarchus labrax*)<sup>[8]</sup>、豹鲨(*Triakis semifasciata*)<sup>[9]</sup>、大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)<sup>[10]</sup>、黑鳍棘鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)<sup>[11]</sup>、鲩鱼(*Miichthys miiuy*)<sup>[13]</sup>等的研究都证实了这一点。但当温度升高到适温范围以外时,鱼体的生理机能发生极大的变化,一些机能性代谢因为温度超过鱼体的适应范围而停止了活动,表现出耗氧率严重下降的现象<sup>[22]</sup>。本研究发现,在水温11~31 °C范围内,暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼的耗氧率随水温升高而升高,没有表现出耗氧率突然下降的现象,这与上面提到的许多鱼类的研究结果一致,符合鱼类耗氧率在适宜范围内随水温上升而增加的一般规律。同时也进一步说明11~31 °C是暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼的最适温度范围。

热能效系数 $Q_{10}$ 表示水生生物对温度的敏感度,它常常用来测量水生生物对变化后的水温的调整能力<sup>[23]</sup>。通常这个 $Q_{10}$ 值在2~3范围内,但在不同的水温范围内, $Q_{10}$ 值有所不同<sup>[24]</sup>。在本研究中,暗纹东方鲀和菊黄东方鲀幼鱼 $Q_{10}$ 值分别是2.84和2.65,都在通常范围(2~3)内。

### 3.3 暗纹东方鲀和菊黄东方鲀耗氧率的差异

鱼类的耗氧率因种而异,这与各种鱼类的生态习性有关<sup>[5]</sup>。一般而言,栖息于水域中上层的速游鱼类如金枪鱼类等,其耗氧率比较高,而栖息于底层,活动程度较少的鱼类如牙鲆<sup>[25]</sup>等则较低<sup>[11]</sup>。暗纹东方鲀长期活动于水体中层,而菊黄东方鲀是近底层鱼类。在本研究中,在大部分的温度范围内(15.2 ~ 31 °C),菊黄东方鲀幼鱼耗氧率低于暗纹东方鲀。这与两种鱼类的生态习性有关。这同时也从理论上说明,在常规的池塘养殖水温条件下,菊黄东方鲀幼鱼比暗纹东方鲀更为耐氧。但是,在实际养殖生产中,菊黄东方鲀因为栖息在水体下层,而水体近底层溶解氧水平较低,所以也要特别注意菊黄东方鲀浮头缺氧。

#### 参考文献:

- [1] 李晓川,林美娇. 河豚鱼及其加工利用[M]. 北京:中国农业出版社,1998:23-29.
- [2] 施永海,张根玉,朱雅珠,等. 菊黄东方鲀河口区海水全人工繁育技术研究[J]. 水产科技情报,2007,34(3):99-102,106.
- [3] 吴剑峰,华元渝,邹宏海,等. 家化暗纹东方鲀全人工繁殖[J]. 动物学杂志,2003,38(1):59-62.
- [4] ZHANG G Y, SHI Y H, ZHU Y Z, *et al.* Effects of salinity on embryos and larvae of tawny puffer *Takifugu flavidus*[J]. *Aquaculture*, 2010(302):71-75.
- [5] 林浩然. 鱼类生理学[M]. 广州:广东高等教育出版社,1999:56-81,103-105.
- [6] LYYTIKÄINEN L, JOBLING M. The effect of temperature fluctuations on oxygen consumption and ammonia excretion of underyearling Lake Inari Arctic charr[J]. *J Fish Biol*, 1998(52):1186-1198.
- [7] 朱爱意,赵向炯,付俊,等. 褐菖鲉耗氧率及窒息点的初步研究[J]. 海洋水产研究,2007,28(1):95-100.
- [8] CLAIREAUX G, LAGARDÈRE J P. Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of the European sea bass[J]. *J Sea Res*, 1999(42):157-168.
- [9] MIKLOS P, KATZMAN S M, CECH J J Jr. Effect of temperature on oxygen consumption of the leopard shark, *Triakis semifasciata*[J]. *Environ Biol Fish*, 2003(66):15-18.
- [10] DÍAZ F, RE AD, GONZÁLEZ R A, *et al.* Temperature preference and oxygen consumption of the largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacépède) acclimated to different temperatures [J]. *Aquac Res*, 2007(38):1387-1394.
- [11] 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.
- [12] 江敏,黄宗群,彭自然,等. 异育银鲫氨氮排泄与耗氧的研究[J]. 上海水产大学学报,2007,16(1):28-32.
- [13] ZHENG Z M, JIN C H, LI M Y, *et al.* Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile miiuy croaker, *Miichthys miiuy* (Basilewsky)[J]. *Aquacult Int*, 2008(16):581-589.
- [14] 王陪军,赵清良,殷宁,等. 暗纹东方鲀鱼苗耗氧率和窒息点的初步研究[J]. 水利渔业,2002,22(6):3-4.
- [15] 雷霖霖. 海水鱼类养殖理论与技术[M]. 北京:中国农业出版社,2005:26-27.
- [16] 臧维玲,朱正国,戴习林,等. 中国对虾瞬时耗氧速率与海水比重及溶氧水平的相关[J]. 水产科技情报,1992,19(4):100-103.
- [17] RANDALL D J. The control of respiration and circulation in fish during exercise and hypoxia [J]. *J Exp Biol*, 1982(100):275-588.
- [18] JONES D R. Theoretical analysis of factors which may limit the maximum oxygen uptake of fish: The oxygen costs of cardiac and branchial pumps[J]. *J Theor Biol*, 1971(32):241-249.
- [19] FRY F E. The aquatic respiration of fish. *Physiology of Fishes* [M]. New York: Academic Press, 1957:11-63.
- [20] 沈旭明,赵清良. 温度、溶解氧对暗纹东方鲀幼鱼呼吸频率的影响[J]. 生态学杂志,2001,20(4):13-15.
- [21] CERREZO J, GARCÍA GARCÍA B. The effects of oxygen levels on oxygen consumption, survival and ventilatory frequency of sharpnose sea bream (*Diplodus puntazzo* Gmelin, 1789) at different conditions of temperature and fish weight [J]. *J Appl Ichthyol*, 2004(20):488-492.
- [22] 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.
- [23] SPANOPOULOS-HERNÁNDEZ M, MARTÍNEZ-PALACIOS B C A, VANEGAS-PÉREZ 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.
- [24] DALLA VIA J, VILLANI P, GASTEIGER E, *et al.* Oxygen consumption in sea bass fingerling *Dicentrarchus labrax* exposed to acute salinity and temperature changes; metabolic basis for maximum stocking density estimations [J]. *Aquaculture*, 1998(169):303-313.
- [25] 张兆琪,张美昭,李吉清,等. 牙鲆鱼耗氧率、氨排泄率与体重及温度的关系[J]. 青岛海洋大学学报,1997,27(4):483-489.

## Effects of temperature on the instantaneous oxygen consumption rate of obscure puffer (*Takifugu obscurus*) and tawny puffer (*Takifugu flavidus*) juveniles

SHI Yong-hai<sup>1,2</sup>, ZHANG Gen-yu<sup>1</sup>, LIU Jian-zhong<sup>1</sup>, ZHU Ya-zhu<sup>1</sup>, XU Jia-bo<sup>1</sup>, ZHU Xiao-dong<sup>1</sup>

(1. Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai 200433, China; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** The instantaneous oxygen consumption rates of obscure puffer (*Takifugu obscurus*) and tawny puffer (*Takifugu flavidus*) juveniles (about 20 g mean weight) were measured by closed-chamber respiration methods at seven temperatures (11, 15, 19, 23, 27, and 31 °C). The results showed that the instantaneous oxygen consumption rates ( $V$ ) of obscure puffer and tawny puffer juveniles decreased as the experimental time ( $t$ ) increased, showing the power law model ( $V = a t^b$ ,  $r^2 > 0.98$ ,  $p < 0.01$ ). Within suitable dissolved oxygen range, the oxygen consumptions of obscure puffer and tawny puffer juveniles were both directly related to the concentration which could be denoted as “conformers”, i. e.  $V$  decreased with decreased dissolved oxygen level, whereas, below that range, the juveniles maintain a constant oxygen consumption rate to ensure the basic life activities, regardless of the concentration of dissolved oxygen, and there are the so-called “regulators”. The oxygen consumption rate and dissolved oxygen had a significant quadratic relationship ( $r^2 > 0.95$ ,  $p < 0.01$ ). The oxygen consumption rate increased rapidly as the temperature increased (11 – 31 °C), showing a linear relationship in the range of temperatures investigated ( $r^2 > 0.95$ ,  $p < 0.01$ ). Within the temperature range of the conventional pond culture, the oxygen consumptions of obscure puffer juvenile were higher than that of tawny puffer. The  $Q_{10}$  of obscure puffer and tawny puffer juveniles were 2.84 and 2.65, respectively. In actual culture and transport processes of obscure puffer and tawny puffer, when dissolved oxygen level is below 3 mg/L, the emergency aid measures should be started.

**Key words:** obscure puffer (*Takifugu obscurus*); tawny puffer (*Takifugu flavidus*); temperature; dissolved oxygen level; oxygen consumption rate