

# 低溶氧量对怀头鲇呼吸代谢耗氧率的影响\*

胡国宏<sup>①</sup> 孙广华<sup>①</sup> 朱世成<sup>②</sup> 熊占山<sup>①</sup> 顾权<sup>①</sup>

(<sup>①</sup> 吉林省水产科学研究所品种研究室 长春 130033;

<sup>②</sup> 中国人民解放军军需大学动物科学系 长春 130062)

**摘要:** 在(22 ± 1)℃下,测定了怀头鲇在不同低溶氧量(DO)时的摄氧量( $VO_2$ )和呼吸参数。结果表明,随着吸入水氧分压( $P_iO_2$ )的降低,呼吸频率( $F_r$ )和 $VO_2$ 略增;鳃通量( $V_g$ )和呼吸量( $V_b$ )显著增加;而氧利用率( $EO_2$ )则显著降低。在通常氧含量(7.41 mg/L)时,怀头鲇呼吸代谢耗氧率( $C_r$ )仅为2.63%,但在严重缺氧(2.58 mg/L)时, $C_r$ 则增至24.60%。可见,低氧环境将严重抑制怀头鲇的生长。

**关键词:** 怀头鲇;呼吸代谢耗氧率;氧利用率;低溶氧量

中图分类号:Q47 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2002)02-46-03

## Effects of Hypoxia on the Rate of Oxygen Consumption of Respiratory Metabolism of Northern Sheatfish

HU Guo-Hong<sup>①</sup> SUN Guang-Hua<sup>①</sup> ZHU Shi-Cheng<sup>②</sup> XIONG Zhan-Shan<sup>①</sup> GU Quan<sup>①</sup>

(<sup>①</sup> Breed Research Section, Fisheries Science Research Institute of Jilin Province Changchun 130033;

<sup>②</sup> Department of Animal Science, Quarter-master University of the Chinese People's Liberation Army Changchun 130062, China)

**Abstract:** Oxygen uptake ( $VO_2$ ) and ventilatory parameters were measured during graded hypoxia in Northern sheatfish (*Silurus soldatovi*) previously acclimated to normoxia ( $DO = 7.41$  mg/L) at (22 ± 1)℃. The  $VO_2$  and breathing frequency ( $F_r$ ) was slightly increased as the oxygen tensions of inspired water ( $P_iO_2$ ) were reduced. Gill ventilation ( $V_g$ ) increased significantly in response to hypoxia and resulted mainly in larger breath volume ( $V_b$ ). The increase in  $V_g$  was also accompanied by a reduction in oxygen extraction efficiency ( $EO_2$ ). The rate of oxygen consumption of respiratory metabolism ( $C_r$ ) was 2.63% in normoxia but increased to 24.60% during severe hypoxia ( $DO = 2.58$  mg/L). The results suggest that the growth rate of this species of fish should be seriously inhibited under low DO environments.

**Key words:** *Silurus soldatovi*; Rate of oxygen consumption; Oxygen extraction efficiency; Hypoxia

怀头鲇(*Silurus soldatovi*)别名东北大口鲇、六须鲇、索(苏)氏六须鲇和黑龙江六须鲇,俗名怀头和怀子,隶属鲇形目、鲇科、鲇属,是近年来开发成功的濒危名优鱼类。目前,该鱼的人工繁殖已取得成功<sup>[1]</sup>。于信勇等<sup>[2]</sup>和胡国宏等<sup>[3]</sup>所进行的养殖试验表明,该鱼生长快、适应环境能力强、抗病力强、养殖经济效益高(每公顷利税4.5万元)。因此,怀头鲇必将成为池塘养殖更新换代优秀的种类之一。尹洪滨等<sup>[4]</sup>观察了该鱼精子的超微结构。然而,关于怀头鲇的呼吸代谢耗氧率和氧利用率的研究则未见报道。

许多研究表明,溶氧是鱼类养殖中的关键因子。高温季节,温带的精养塘存在着这样一个矛盾,即水温有利于养殖鱼类的生长,而溶氧不足又限制鱼类的生长。这一矛盾迫使鱼类进行维持从水到组织的氧梯度和代谢需气途径的生理调节反应<sup>[5]</sup>。这些反应也需要

\* 农业部重点攻关项目资助(渔 85-95-05-02-03);

第一作者介绍 胡国宏,男,37岁,高级工程师;研究方向:淡水名优鱼类繁殖与养殖技术。

收稿日期:2001-03-10,修回日期:2001-09-20

耗能,如为缓解氧的运输,而增加鳃通量。鳃通量的增加又使得呼吸肌所做的功增加<sup>[6]</sup>。较高的能量支出,减少了用于摄食、生长、游泳和性腺发育的能量<sup>[7]</sup>。在通常氧含量[水中氧分压( $P_{O_2}$ ) $\geq 125$  mmHg,氧饱和度( $S$ )=90%]时,尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的呼吸代谢耗氧率( $C_r$ )较低(仅3%)。然而,当水中 $S$ 降至25%时,则 $C_r$ 增至20%<sup>[6]</sup>。本实验测定了怀头鲂在不同溶氧含量时的呼吸代谢耗氧率和氧利用率,旨在为怀头鲂的人工养殖提供理论依据。

## 1 材料与方 法

从本单位培育(在水泥池中投喂水丝蚓和杂鱼)的怀头鲂幼鱼中随机取8尾,体重( $328.6 \pm 37.2$ )g,放在800 L盛有流水(每分钟交换2次)的水箱中。保持恒温( $22 \pm 1^\circ\text{C}$ ),光周期为12 h光照(40 W日光灯)和12 h黑暗。投喂泥鳅,饲养1周,使之适应通常氧含量( $P_{O_2} \geq 125$  mmHg,  $S = 90\%$ )。试验前停喂2 d。用流水呼吸系统测定摄氧量( $VO_2$ , ml  $O_2$ /kg·h)。按照 Fernandes 等<sup>[8]</sup>的方法测定鳃通量( $V_g$ , ml  $H_2O$ /kg·min)、呼吸频率( $F_r$ , 次/min)、呼吸量( $V_b$ , ml  $H_2O$ /kg·min)和氧利用率( $EO_2$ ,%)。呼吸器入口和出口处的氧分压,以及吸入水和呼出水的氧分压,参照文献[6]的方法测定。试验

容器内水的 $DO$ 量通过沸腾氮来逐渐降低,并保持不同的稳定水平。

$$VO_2 \text{ 由下式计算: } VO_2 = V_r \alpha (P_{in} O_2 - P_{out} O_2) / W$$

式中  $V_r$  为呼吸器的流量(本实验为 26.67 L/s),  $\alpha$  为氧在水中的溶解度(本实验为 29.5 ml/L),  $W$  为鱼体重,  $P_{in} O_2$  和  $P_{out} O_2$  分别为呼吸器入口和出口处的氧分压。

$$EO_2 = 100(P_i O_2 - P_e O_2) / P_i O_2$$

$$V_b = V_g / F_r$$

式中  $P_i O_2$  和  $P_e O_2$  分别为吸入水和呼出水的氧分压。实验在恒温( $22 \pm 1^\circ\text{C}$ )下进行。 $C_r$  由  $VO_2$  和  $V_g$  的回归方程来估计。将  $V_g = 0$  时的  $VO_2$  与总  $VO_2$  之差看作呼吸肌的耗氧量。 $C_r$  即为呼吸肌的耗氧量占总  $VO_2$  的百分比。用统计分析系统(SAEG)在长城计算机中进行方差分析(ANOVA)。用 TUKey's 检验来比较平均值之间的差异。

## 2 结 果

怀头鲂在不同吸入水氧分压下的摄氧量( $VO_2$ )、鳃通量( $V_g$ )、呼吸量( $V_b$ )、呼吸频率( $F_r$ )和氧利用率( $EO_2$ )见表1。

表1 怀头鲂在不同吸入水氧分压下的摄氧量和呼吸参数( $n = 8$ ,  $W = 328.6 \pm 37.2$  g)

$P_i O_2$ (mmHg)	$VO_2$ (ml $O_2$ /kg·h)	$V_g$ (ml $H_2O$ /kg·min)	$V_b$ (ml $H_2O$ /kg·min)	$F_r$ (次/min)	$EO_2$ (%)
125.08 $\pm$ 4.76	52.88 $\pm$ 4.53	154.44 $\pm$ 16.62	5.28 $\pm$ 0.46	47 $\pm$ 2	85.35 $\pm$ 4.78
100.15 $\pm$ 3.94	54.02 $\pm$ 6.03	316.45 $\pm$ 47.36	7.62 $\pm$ 3.85	49 $\pm$ 2	81.63 $\pm$ 6.55
75.33 $\pm$ 3.75	56.12 $\pm$ 5.21	490.58 $\pm$ 84.34	10.25 $\pm$ 2.17	50 $\pm$ 3	75.28 $\pm$ 6.67
50.84 $\pm$ 3.61	60.43 $\pm$ 7.15	931.82 $\pm$ 162.55	15.24 $\pm$ 3.73	52 $\pm$ 4	70.33 $\pm$ 11.42
30.83 $\pm$ 4.82	68.29 $\pm$ 7.62	1785.14 $\pm$ 201.13	25.08 $\pm$ 5.26	58 $\pm$ 5	62.25 $\pm$ 5.38

从表1可看出,随着  $P_i O_2$  的逐渐降低,  $VO_2$  和  $F_r$  略增,  $V_g$  和  $V_b$  显著( $P \leq 0.05$ )增加。在最低氧分压( $P_i O_2 = 30.83 \pm 4.82$ )时,  $EO_2$  显著( $P \leq 0.05$ )降低(从85.35%降至62.25%)。由表1求得  $VO_2$  和  $V_g$  的回归方程为:  $VO_2 = 51.49 + 9.31 \times 10^{-3} V_g$  ( $r = 0.8384$ )

根据该回归方程估算出的,怀头鲂在不同溶氧含量时的  $C_r$  值见表2。

从表2可知,随着水中氧含量的降低,  $C_r$  显著( $P \leq 0.05$ )增加,而且在最低氧含量(2.58 mg/L)时,急剧增加(从通常氧含量时的2.63%增加至24.60%)。

表2 怀头鲂在不同溶氧含量( $DO$ )时的  $C_r$

值及其所对应的  $S$  值

$DO$ (mg/L)	$S$ (%)	$C_r$ (%)
7.41	90	2.63
6.85	73	4.68
6.12	53	8.25
4.15	38	14.79
2.58	23	24.60

## 3 讨 论

研究结果表明,怀头鲂适应低氧含量的生理机制

是,通过增加鳃通量( $V_g$ )来维持鱼体所需的摄氧量( $VO_2$ )。这与 Fernandes 等<sup>[6]</sup>关于尼罗罗非鱼的研究结果一致。Vergheyen 等<sup>[10]</sup>报道,尼罗罗非鱼在低氧条件下  $V_g$  增加的同时,次级鳃小片的通透性升高,并通过增加 Hb 与  $O_2$  的亲合力来维持鱼体的稳态机制。这一结论可解释,在中度低氧含量下, $VO_2$  的略增和  $EO_2$  的降低。Fernandes 等<sup>[8]</sup>报道,尼罗罗非鱼  $EO_2$  的显著降低发生在临界氧分压( $P_c O_2$ )附近( $P_i O_2 = 18.0 \pm 4.9$  mmHg)。而本实验怀头鲂则发生在  $P_i O_2 = 30.83 \pm 4.82$  mmHg 时。这表明怀头鲂耐低氧能力明显低于尼罗罗非鱼。

本研究表明,怀头鲂对低氧的反应,主要是增加  $V_g$  和  $V_b$ 。而  $V_g$  和  $V_b$  的增加恰是呼吸肌加强收缩的结果。在通常氧含量(7.41 mg/L)时,怀头鲂呼吸代谢耗氧率( $C_r$ )仅为 2.63%。然而,当水中溶氧含量降至 2.58 mg/L 时, $C_r$  增至 24.60%(表 2)。表明在缺氧条件下,怀头鲂将有近 25% 的代谢能用于维持摄氧量,从而将严重抑制其增重和生长。因此,怀头鲂不能长期养在低氧环境中。

## 参 考 文 献

- [1] 刘英,于铁梅,胡国宏等.怀头鲂人工繁殖及苗种培育的研究.水利渔业,1999,19(4):17~18.
- [2] 于信勇,刘婉莹,戴朝方等.池塘养殖六须鲂试验.淡水渔业,1999,29(4):34~35.
- [3] 胡国宏,于铁梅,刘英等.池塘养殖怀头鲂试验.内陆水产,2000,25(4):34.
- [4] 尹洪滨,孙中武,刘玉堂等.索氏六须鲂精子的超微结构.水产学报,2000,24(4):302~305.
- [5] Hughes G M. Respiratory responses to hypoxia in fish. *Am Zool*, 1973, 13:475~489.
- [6] Fernandes M N, Rantin F T. Relationships between oxygen availability and metabolic cost of breathing in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): aquacultural consequences. *J Aquaculture*, 1994, 127:339~346.
- [7] Gillet C, Billard R, Breton B. La reproduction du poisson rouge *Carassius auratus* eleve a 30°C effected la photoperiode, de l' a limentation et de l' oxygenation. *Cah Lab Montereau*, 1981, 11:49~56.
- [8] Fernandes M N, Rantin F T. Respiratory responses of *Oreochromis niloticus* (Pisces, Cichlidae). *Rev Hydrobiol Trop*, 1989, 19(3~4):163~168.
- [9] Hughes G M, Albers C, Muster D *et al.* Respiration of the carp, *Cyprinus carpio* L. at 10 and 20°C and the effects of the hypoxia. *J Fish Biol*, 1983, 22:613~628.
- [10] Vergheyen E, Blust R, Doumen C. the oxygen uptake of *Sarotherodon niloticus* L. and the oxygen binding propties of its blood and hemolysate (Pisces, Cichlidae). *Comp Biochem Physiol*, 1985, 81A:423~426.