

# 河川沙塘鳢早期发育过程中耗氧率及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率的变化\*

翁敏婵<sup>1</sup>, 郭莎园<sup>1</sup>, 胡先成<sup>2</sup>

(1. 重庆师范大学 生命科学学院, 重庆 400047; 2. 重庆师范大学 重庆市动物生物学重点实验室, 重庆 400047)

**摘要:**为研究河川沙塘鳢(*Odontobutis potamophila*)在早期发育过程中的生理代谢和能量利用状况,在20.8~24.6℃的水温条件下连续测定了河川沙塘鳢早期发育过程中的耗氧率和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率。结果显示,河川沙塘鳢受精卵的耗氧率较低,机体代谢维持较低的水平,随着胚胎的发育耗氧率逐渐升高,至孵化前期,耗氧率急剧增加,由 $0.315\ 1\ \mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$ 上升至 $0.705\ 5\ \mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$ ( $p < 0.05$ )。此后耗氧率随发育呈线性增加;此外, $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率随发育进行整体呈上升趋势,但在胚胎发育早期没有显著性差异,眼黑色素出现期开始明显增加( $p < 0.05$ ),至眼晶体形成期达到胚胎发育阶段的最大值,仔鱼刚孵出时稍有下降,之后缓慢增加,从8日龄仔鱼到16日龄稚鱼, $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率呈显著性增加( $p < 0.05$ )。此后 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率维持在一个恒定水平。研究揭示河川沙塘鳢在早期发育过程中随发育时间推进,机体代谢强度逐步增加,且在发育过程中以蛋白质作为氧化底物,为胚胎发育提供了主要的能量。

**关键词:**河川沙塘鳢;胚胎;仔鱼;稚鱼;耗氧率; $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率

**中图分类号:** Q955

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-6693(2010)05-0014-05

鱼类耗氧率和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率是反映机体新陈代谢的重要指标,研究耗氧率和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率有助于了解鱼类的代谢特征以及生理活动的变化规律。近年来,国内外学者对不同鱼类的耗氧率和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率进行了广泛而深入的研究<sup>[1-7]</sup>,但这些研究大多局限于鱼类发育过程中的某些特定阶段,关于鱼类在早期发育过程中(胚胎、仔鱼、稚鱼)耗氧率和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率变化的系统研究较为少见。而此类研究将有助于揭示鱼类在不同发育时期的能量利用及生理代谢状况,为鱼类孵化以及养殖育种等方面提供重要的理论基础。

河川沙塘鳢(*Odontobutis potamophila*)属鲈形目(Perciformes)塘鳢科(Eleotridae),俗称塘鳢鱼、土布鱼、塘蒲等,为淡水底栖鱼类。该鱼广泛分布于我国长江下游及其支流、钱塘江水系、闽江水系等<sup>[8]</sup>,其肉质细嫩、营养丰富,深受上海、浙江、江苏等地人们的喜欢,因此其作为人工养殖对象具有广阔的发展前景。已有研究者就该鱼在胚胎发育过程中的器官形成、身体组成、能量收支、底物变化以及消化酶活性的变化进行了系统而深入的研究<sup>[9-14]</sup>。因此,本文在以往研究基础上进一步研究分析其从受精卵至稚鱼时期耗氧率和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率的变化规律,旨

在为河川沙塘鳢早期发育过程中营养代谢研究提供基础资料,同时也为该鱼在人工繁殖、孵化过程中提高仔鱼的成活率提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

河川沙塘鳢亲鱼购于上海市铜川路水产品集贸市场,将性成熟的雌雄数目比为1:2的亲鱼进行干法人工授精。在消除受精卵粘性后,将受精卵置于室内水族箱中静水孵化,仔鱼孵出后每天饱足投喂并按时除污换水。

### 1.2 方法

实验在自制的密闭呼吸瓶中进行。用500 mL容量的三角瓶做呼吸瓶,根据发育阶段的不同在每个呼吸瓶中放置30~50粒不等的受精卵,当仔鱼孵出后,每个呼吸瓶中放置20尾仔鱼。将受精卵或仔鱼放入呼吸瓶后,立即测定呼吸瓶中水体的溶氧量,然后用双层膜封口,呼吸瓶内不留任何气泡,并用橡皮筋扎紧瓶口。将所有的呼吸瓶置于水族箱中,保持温度一致,实验期间的温度为20.8~24.6℃。每个时期设3个重复,同时设1个空白对照,以测定水中微小生物的呼吸耗氧量。实验时间为24 h,根据

\* 收稿日期 2010-05-20 修回日期 2010-08-06

资助项目:重庆市教委科学技术研究项目(No. KJ090827);重庆师范大学重点科研项目(No. 08XLB001)

作者简介:翁敏婵,女,硕士研究生,研究方向为水生动物发育生物学,通讯作者:胡先成, E-mail: hww@cqnu.edu.cn

不同发育阶段调整呼吸瓶中胚胎的数量,使实验结束时呼吸瓶中的溶氧含量保持在  $4.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  以上,确保胚胎耗氧率不受缺氧环境的影响。实验结束时迅速测定呼吸瓶中水体的溶氧量,每个呼吸瓶测定 3 个数据,同时用 50 mL 的三角瓶取 3 个水样,用于测定水体的 NH<sub>3</sub>-N。实验结束后立刻换水准备下一次实验,这样连续进行实验直到 36 日龄稚鱼,每天换水和测定的时间保持一致。实验主要选取受精卵期、卵裂期、囊胚期、原肠期、眼晶体形成期、眼黑色素出现期、孵化前期、初孵仔鱼、4 日龄仔鱼、8 日龄仔鱼、16 日龄稚鱼、26 日龄稚鱼、36 日龄稚鱼的耗氧率和 NH<sub>3</sub>-N 排泄率进行分析比较。此外,在本实验中,为了排除摄食代谢对耗氧率和排氨率的影响,所有实验鱼在实验前都禁食 12 h。

水体中的溶氧量用美国 HACH 公司生产的 HQ10 型溶氧测定仪进行测定,NH<sub>3</sub>-N 含量用纳氏试剂分光光度法进行测定。

### 1.3 数据处理

1) 个体的耗氧率 ( $R_0$ ) 的计算方法为:  $R_0 = [ \text{呼吸瓶容积} \times (\text{实验开始时呼吸瓶水样溶氧量} - \text{实验结束时呼吸瓶水样溶氧量}) - (\text{呼吸瓶容积} \times \text{水呼吸耗氧量}) ] \times (\text{胚胎或仔鱼数量} \times \text{测定时间})^{-1}$ ; 其单位为  $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ , 其中  $\mu\text{g}$  为氧气的质量。

2) 个体的 NH<sub>3</sub>-N 排泄率 ( $R_N$ ) 的计算方法为:  $R_N = [ \text{呼吸瓶容积} \times (\text{实验结束时呼吸瓶水样 NH}_3\text{-N 含量} - \text{实验结束时对照瓶水样 NH}_3\text{-N 含量}) ] \times (\text{胚胎或仔鱼数量} \times \text{测定时间})^{-1}$ ; 其单位为  $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ , 其中  $\mu\text{g}$  为 NH<sub>3</sub>-N 的质量。

3) 氨商 (AQ) 的计算方法为:  $AQ = R_N / R_0$ 。

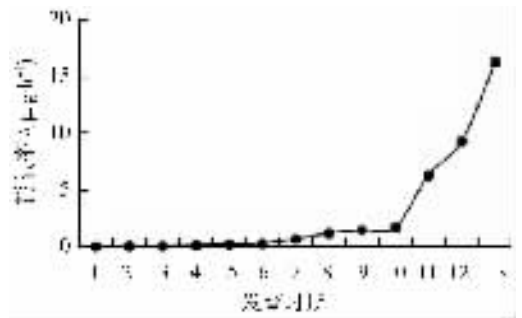
实验结果以平均值  $\pm$  标准误 (Mean  $\pm$  SE) 表示,采用 Excel2003 以及 SPSS17.0 软件进行整理及统计分析,以  $p < 0.05$  作为达到显著性水平的标准。

## 2 结果

### 2.1 耗氧率的变化

图 1 显示,河川沙塘鳢早期发育过程中耗氧率总体呈上升趋势。在胚胎发育阶段耗氧率整体较低,随着胚胎发育呈缓慢增加,但没有显著性差异,至孵化前期耗氧率达到胚胎阶段的最大值 ( $0.7055 \pm 0.0242$ )  $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ 。河川沙塘鳢胚后发育阶段耗氧率变化极为显著,当仔鱼孵出后,耗氧率较胚胎发育阶段明显增加 ( $p < 0.05$ ),但在整个仔鱼阶段保持稳定。当卵黄囊耗尽后,耗氧率随发育进程呈显著

性增加,由 16 日龄稚鱼的 ( $6.3500 \pm 0.1323$ )  $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$  增加至 36 日龄稚鱼的 ( $16.2565 \pm 0.3387$ )  $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$  ( $p < 0.05$ )。



1. 受精卵期 2. 卵裂期 3. 囊胚期 4. 原肠期 5. 眼晶体形成期 6. 眼黑色素出现期 7. 孵化前期 8. 初孵仔鱼 9. 4 日龄仔鱼 10. 8 日龄仔鱼 11. 16 日龄稚鱼 12. 26 日龄稚鱼 13. 36 日龄稚鱼; 1~7 胚胎时期 8~10 仔鱼时期 11~13 稚鱼时期; 下同。

图 1 河川沙塘鳢早期发育过程中耗氧率的变化

Fig. 1 Variation of the oxygen consumption rate during the early development of *O. potamophila*

### 2.2 NH<sub>3</sub>-N 排泄率的变化

河川沙塘鳢早期发育过程中 NH<sub>3</sub>-N 排泄率总体呈上升趋势(图 2)。整个胚胎发育阶段 NH<sub>3</sub>-N 排泄率较低,在胚胎发育前期没有显著性差异,当发育到眼晶体形成期时开始出现明显增加的趋势 ( $p < 0.05$ ),并在眼黑色素出现期达到胚胎时期的最大值,由眼晶体形成期的 ( $0.0259 \pm 0.0037$ )  $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$  增加至 ( $0.0684 \pm 0.0055$ )  $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ 。仔鱼时期 NH<sub>3</sub>-N 排泄率保持稳定,变化不明显。8 日龄仔鱼发育至 16 日龄稚鱼时该值大幅度增加,即由 ( $0.0907 \pm 0.0018$ )  $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$  上升至 ( $0.2220 \pm 0.0013$ )  $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$  ( $p < 0.05$ ),此后保持稳定。

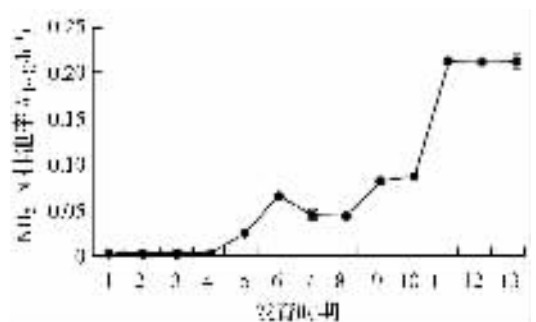


图 2 河川沙塘鳢早期发育过程中 NH<sub>3</sub>-N 排泄率的变化  
Fig. 2 Variation of the NH<sub>3</sub>-N excretion rate during the early development of *O. potamophila*

### 2.3 氨商的变化

河川沙塘鳢在早期发育过程中氨商的变化可以

分为3个阶段:即胚胎发育前期其处于一个稳定状态(0.054~0.018),当胚胎发育到眼晶体形成期时大幅上升,到眼黑色素出现期时达到最大值0.217,当仔鱼出膜后,氨商又迅速回复到胚胎发育初期的水平(图3)。



图3 河川沙塘鳢早期发育过程中氨商的变化

Fig. 3 Variation of the ammonia quotient during the early development of *O. potamophila*

## 3 讨论

### 3.1 早期发育过程中耗氧率的变化

早期发育对于鱼体的组织构建、器官分化、生长以及成年后的身体特征和繁殖等有着重要的影响,在此过程中耗氧率的变化特征可以直接反映鱼类的新陈代谢状况以及对能量的需求进而反映鱼类早期的发育状况。大多数研究表明,鱼类在早期发育过程中耗氧率随发育的推进呈逐渐上升趋势<sup>[15-16]</sup>。本研究表明河川沙塘鳢早期发育过程中耗氧率总体变化趋势也呈现出上述特点,就发育进程来讲可以将其分为3个阶段,即胚胎发育时期、仔鱼时期、稚鱼时期。

河川沙塘鳢在胚胎发育时期耗氧率处于较低水平,但随发育进行而缓慢增加,至孵化前期增加幅度尤为明显(图1),这和鳗鲡<sup>[2]</sup>(*Anguilla japonica*)、泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*(Cantor))、白鲢<sup>[15]</sup>(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鲤鱼<sup>[3]</sup>(*Cyprinus carpio* Linnaeus)的研究结果相似。对于鱼类来讲,从受精卵到眼晶体形成期,生命活动主要以卵裂为主,胚胎尚未进入分化阶段,此时新陈代谢不旺盛,期间所需的氧主要通过卵膜与外界进行气体交换,然后渗透到细胞中完成呼吸作用,所以其耗氧率较低。胚胎发育到眼黑色素出现期后其耗氧率略有上升,在此期间伴随着脑、鳃、肝胰脏等高耗氧器官的逐步完善<sup>[9]</sup>,新陈代谢逐渐增强,耗氧率也逐渐加大。孵化前期至出膜期由于胚胎自身的扭动导致能量的需求更大,结果表现为耗氧率大幅度的增加,这

在鲤鱼和鳗鲡的研究中得到证实<sup>[3]</sup>。

出膜后,仔鱼的发育状况以及面临的环境与胚胎存在很大差异,不同的鱼类在此阶段会表现出不同的代谢方式来反映其对能量的需求。先前对鲤鱼、鳗鲡的研究发现仔鱼孵出后器官发育并不完全,在相对长的一段时间内不能开口摄食,生理代谢低,所以仔鱼初孵出时耗氧率较胚胎时期并无明显的变化<sup>[2,17]</sup>。与以上研究不同,本实验研究发现河川沙塘鳢仔鱼出膜后,新陈代谢加快,耗氧率相对于胚胎时期明显增加。胡先成等研究发现,河川沙塘鳢各组织器官在胚胎时期发育已较完善,出膜后口裂张开能上下灵活活动,生命活动旺盛<sup>[9]</sup>,再加上组织和器官进一步发育完善,对能量的需求大为增加,因此导致耗氧率的上升。另一方面,河川沙塘鳢在仔鱼阶段属混合型营养,既可以用自身剩余的卵黄作为营养,又可以从外界环境中摄取饵料弥补营养的不足<sup>[10]</sup>,所以在此阶段不必为摄取食物做大量运动,机械耗能较少,因此仔鱼阶段的耗氧率一直保持稳定。这表明鱼类在早期发育过程中,其代谢特征是与发育过程中的结构特点以及生理变化紧密相连。

从稚鱼时期开始,河川沙塘鳢的耗氧率随发育进程而显著增加(图1)。这和黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*(Richardson))的研究结果一致<sup>[18]</sup>。对于河川沙塘鳢来讲,进入稚鱼时期后其在能量收支上的最大特征是卵黄囊已基本耗尽,在营养方式上由内源性营养转化为外源性营养<sup>[19]</sup>,因此在寻找适口的饵料过程中其运动耗能大大增加,这是导致新陈代谢更为旺盛的原因。与此同时,其呼吸器官也已发育相对完备,能进行气体交换满足自身的需要,因此耗氧率增加更为明显。

### 3.2 早期发育过程中NH<sub>3</sub>-N排泄率的变化

河川沙塘鳢胚胎发育各个时期的NH<sub>3</sub>-N排泄率较低,但随着胚胎的发育逐渐升高,这和耗氧率的变化趋势基本一致(图2)。鱼类的排氨主要是由蛋白质代谢中氨基酸脱氨基作用产生的,而河川沙塘鳢在胚胎发育期间蛋白质作为主要能源物质为生理代谢提供能量<sup>[13]</sup>。河川沙塘鳢在胚胎发育早期代谢水平比较低,对能量的需求不高,因此水解的蛋白质量少,这使得NH<sub>3</sub>-N排泄率保持较低水平。到眼晶体形成期和眼黑色时期,组织、器官逐步形成,代谢水平逐渐提高,因此NH<sub>3</sub>-N排泄率增加明显。

仔鱼时期的NH<sub>3</sub>-N排泄率也和耗氧率的变化趋势相同,逐渐上升后保持稳定。但仔鱼刚孵出时

的  $\text{NH}_3\text{-N}$  排泄率相对于眼黑色素出现期稍有下降,这可能是由于在仔鱼阶段脂肪作为能源物质供能的比例相对增加,而蛋白质的比例相对下降所致<sup>[13]</sup>。

进入稚鱼时期时的  $\text{NH}_3\text{-N}$  排泄率较仔鱼时期大幅度增加,之后保持稳定。稚鱼时期个体体积增大,维持生命活动所需能量增加,蛋白质作为大量的能源物质,其分解速率也必然加大,因此  $\text{NH}_3\text{-N}$  排泄率也较仔鱼增加。此时期的河川沙塘鳢组织器官发育基本完善,新陈代谢趋于稳定,对能量的需求也保持相对稳定,相应的  $\text{NH}_3\text{-N}$  排泄率处于稳定的状态。

### 3.3 早期发育过程中能量代谢底物

动物有氧呼吸的底物主要包括3类物质:糖类、脂肪和蛋白质;而蛋白质作为生命活动的体现者为有机体在不同的时空、环境以及生理状况下提供大量的能量,是生物能量代谢的主要能源。在鱼类胚胎的发育过程中,伴随着旺盛的生理代谢以及组织器官的构建,大多数鱼类在此阶段表现出对能量的大量需求,有研究发现处于胚胎发育时期的鱼类的耗氧率是成鱼时期的几倍。但对于早期胚胎发育时期的鱼类来讲由于缺乏外源性的能量补给,所以在此阶段能够利用的物质是卵黄中的蛋白质和脂肪,且蛋白质占了很大比例,所以蛋白质在鱼类早期胚胎的发育过程中起着重要的作用。 $\text{NH}_3\text{-N}$  是由氨基酸氧化分解供能所产生的, $\text{NH}_3\text{-N}$  排泄率与耗氧率的比值大小即氮商(AQ)反映了蛋白质作为能源物质为有机体供能的比例。Kutt对硬骨鱼类研究发现,如果代谢供能全部由蛋白质提供,AQ值为0.33,若小于0.33,则存在一定比例的碳水化合物和脂肪供能<sup>[20]</sup>。本实验研究发现,河川沙塘鳢在胚胎发育前期AQ值整体处于较低的稳定水平,当胚胎发育到眼晶体形成时期和眼黑色素出现期达到最大值0.217,在仔鱼时期和稚鱼时期AQ值又恢复到较低的稳定水平(图3)。由此表明当河川沙塘鳢胚胎发育处于眼晶体时期和眼黑色素时期时蛋白质供能的比例较大,本实验与胡先成的研究结果相似<sup>[13]</sup>,这在一定程度上反映出蛋白质作为主要能源物质为河川沙塘鳢在胚胎发育过程中提供能量所占的比例是由其特定发育阶段的属性所决定的。

根据河川沙塘鳢早期发育阶段的耗氧率特点,在育苗培育过程中要特别注意水体中的溶氧,这个过程河川沙塘鳢调节能力极低,含氧量稍低,都有可能引起窒息死亡。耗氧水平的高低也是代谢水平

高低的标志,在培育过程中要保证饵料充足,满足其正常生长的需要。根据  $\text{NH}_3\text{-N}$  排泄率的变化特征,在不同的发育阶段投喂最适口的饵料。

### 参考文献:

- [1] 唐国盘,刘鉴毅,危起伟,等.中华鲟胚胎的耗氧率[J].动物学杂志,2004,39(5):30-34.
- [2] 谢刚,祁宝伦,余德光,等.鳊鱼胚胎和早期仔鱼的耗氧量[J].大连水产学院学报,2000,15(4):250-253.
- [3] 黄少涛,季纯善,林华英.鲤鱼在胚胎仔鱼稚鱼期的耗氧水平的研究[J].厦门水产学院学报,1983,1:56-62.
- [4] 陈宁生,施泉芳.草鱼、白鲢和花鲢的耗氧率[J].动物学报,1955,7(1):43-58.
- [5] Terjesen B F, Verreth J, Fyhn H J. Urea and ammonia excretion by embryos and larvae of the african catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 1997, 16: 311-321.
- [6] Cui Y, Wootton R J. The metabolic rate of the minnow *Phoxinus phoxinus* (L.) (Pisces: Cyprinidae), in relation to ration, body size and temperature [J]. Functional ecology, 1988, 2: 157-162.
- [7] Segawa S, Hanlon R T. Oxygen consumption and ammonia excretion rates in *Octopus maya*, *Loligo forbesi* and *Lolliguncula brevis* (Mollusca, Cephalopoda) [J]. Marine Behaviour and Physiology, 1988, 13: 389-400.
- [8] 伍汉霖,吴小清,解玉浩.中国沙塘鳢属鱼类的整理和一新种的叙述[J].上海水产大学学报,1993,2(1):52-58.
- [9] 胡先成.河川沙塘鳢的器官发育[J].重庆师范学院学报(自然科学版),1996,13(1):27-31.
- [10] 胡先成,孙幅英.河川沙塘鳢消化系统的发育及仔、稚、幼鱼摄食的研究[J].上海水产大学学报,1996,5(2):75-82.
- [11] 胡先成.河川沙塘鳢仔、稚、幼鱼的发育阶段及生长的研究[J].重庆师范学院学报(自然科学版),1996,13(2):10-15.
- [12] 谢仰杰,孙幅英.河川沙塘鳢的胚胎和胚后发育以及温度对胚胎发育的影响[J].厦门水产学院学报,1996,18(1):55-61.
- [13] 胡先成,周忠良,赵云龙,等.盐度对河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育过程中能量收支的影响[J].海洋与湖沼,2007,38(6):569-575.
- [14] 刘铭,胡先成,韩强,等.河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育过程中蛋白酶活性的变化[J].淡水渔业,2008,38(5):39-41.
- [15] 曹杰超,刘卫,张伟衡,等.泥鳅和白鲢胚胎不同发育时期耗氧量的研究[J].水生生物学报,1986,10(2):162-170.

- [ 16 ] 方耀林, 余来宁. 团头鲂及其胚胎耗氧率的研究 [ J ]. 淡水渔业, 1991, 3: 21-23.
- [ 17 ] 黄玉瑶. 鲤鱼、白鲢、鳊鱼的鱼苗、鱼种耗氧量的研究 [ J ]. 动物学报, 1975, 21( 1 ): 78-87.
- [ 18 ] 廖志洪, 林小涛, 王春, 等. 黄颡鱼仔、稚、幼鱼耗氧率及氨氮排泄率的初步研究 [ J ]. 生态科学, 2004, 23( 3 ): 223-226.
- [ 19 ] 胡先成, 赵云龙. 河川沙塘鳢视觉器官的发育及其与摄食的关系 [ J ]. 动物学杂志, 2007, 42( 5 ): 41-48.
- [ 20 ] Kutty M N. Ammonia quotient in sockeye salmon [ J ]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1978, 35: 1003-1005.

## Animal Sciences

### Variation of the Oxygen Consumption Rate and $\text{NH}_3\text{-N}$ Excretion Rate During the Early Development of *Odontobutis potamophila*

WENG Min-chan<sup>1</sup>, GUO Sha-yuan<sup>1</sup>, HU Xian-cheng<sup>2</sup>

( 1. School of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 400047 ;

2. Key laboratory of Animal Biology, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China )

**Abstract :** To investigate the metabolism and energy utilization during the early development of *Odontobutis potamophila*, the oxygen consumption rate and  $\text{NH}_3\text{-N}$  excretion rate were measured between 20.8 °C and 24.6 °C in this paper. The results showed that the oxygen consumption rate was very low during the early embryonic development, and the metabolism was kept at a low level. But it increased significantly at the prehatching stage from  $0.315 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$  to  $0.705 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$  ( $p < 0.05$ ). Thereafter, oxygen consumption rate increased linearly with the development of *O. potamophila*; In addition, the  $\text{NH}_3\text{-N}$  excretion rate increased with the development of *O. potamophila* too, while it had no significant difference during the early embryonic development. When the embryo reached the eye pigmentation stage, the  $\text{NH}_3\text{-N}$  excretion rate increased rapidly ( $p < 0.05$ ) and achieved maximum value of embryonic stage, yet a slightly decreased after hatching. It increased from 8 d to 16 d after hatching ( $p < 0.05$ ), and then  $\text{NH}_3\text{-N}$  excretion rate keeps still. The results indicated that the metabolism improved gradually during the early development of *O. potamophila*. As a substrate oxidation, protein provided major energy during the embryonic development.

**Key words :** *Odontobutis potamophila*; embryo; larval fish; juvenile fish; oxygen consumption rate;  $\text{NH}_3\text{-N}$  excretion rate

( 责任编辑 方 兴 )