

盐度对河川沙塘鳢(*Odontobutis potamophila*)胚胎、仔鱼发育过程中能量收支的影响*

胡先成^{1,2} 周忠良² 赵云龙² 王艳¹ 秦芬² 徐晓倩²

(1. 重庆师范大学重庆市动物生物学重点实验室 重庆 400047;

2. 华东师范大学生命科学学院 上海 200062)

提要 在淡水、1.00、2.00、3.00、4.00 盐度等条件下,采用鱼类生物能量学的方法,测定了河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育过程中的耗氧率、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率,并对不同盐度下河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育过程中的能量流转进行了研究。结果表明,在不同发育时期,盐度对耗氧率和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率都有显著影响,以 1.00 盐度条件下的耗氧率为最低,而 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率则在淡水条件下为最低并随着盐度的升高逐渐增高;盐度对河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育过程中的能量收支有显著影响,以 1.00 盐度条件下的能量分配模式为最佳模式,代谢耗能占食物能的比例(R/C)最低,为 35.06%,而生长能占食物能的比例(G/C)最高,达到 58.55%,能量收支方程为: $100C = 6.40U + 35.06R + 58.55G$ 。

关键词 河川沙塘鳢, 胚胎, 仔鱼, 盐度, 耗氧率, $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率, 能量收支

中图分类号 Q959

鱼类能量学是研究能量在鱼体内转换的学科,其中心问题是阐明体内能量收支各组分之间的定量关系以及各种环境因子对这些关系的影响。有关这方面的研究国内外已有很多报道(崔奕波, 1989; Cui *et al*, 1990, 1992, 1994; Xie *et al*, 1997a, b; 王瑁, 1998; 孙耀等, 1999; 雷思佳等, 2000),迄今已经建立了多种鱼类的能量收支模式(郑建民等, 1991; 王瑁, 1998; 唐启升等, 2003; Lemos *et al*, 2006)。有关鱼类早期发育过程中的能量收支以及盐度对鱼类能量收支的影响也已有的一些报道(Lam *et al*, 1985; 邱德依等, 1995; 戴祥庆等, 1998; 雷思佳等, 1999; Jaworski *et al*, 2002; Sun *et al*, 2006a, b),但是,有关鱼类胚胎、仔鱼发育过程中的能量收支及其盐度的影响却未见报道。进行这方面的研究有助于揭示鱼类在早期发育过程中的能量学特征,了解卵黄物质的能量流转状况及转化效率,建立其能量收支模式。进一步探讨盐度对能量收支的影响,确定早期发育过程中的最佳盐度,使更多的卵黄能量转化为生长

能,提高早期发育过程中卵黄物质的利用效率,同时增强胚胎和仔鱼的抗性,从而提高仔鱼的孵化率和存活率,并促进仔鱼的生长。所以,研究盐度对鱼类早期发育过程中能量收支的影响在鱼类的育种方面具有重要的理论和实际意义。

河川沙塘鳢 [*Odontobutis potamophila* (Günther)]系小型经济鱼类,深受上海、江苏、浙江一带人们的喜爱,现已成为一种重要的人工增殖鱼类。在对该鱼早期发育进行研究的基础上(胡先成, 1996; 胡先成等, 1996, 2007; 谢仰杰等, 1996),本文作者进一步对该鱼胚胎、仔鱼发育过程中的耗氧率、氨氮排泄率以及能量收支进行研究,探讨不同盐度对耗氧率、氨氮排泄率和能量收支的影响,建立不同盐度下的能量收支方程,并确定其最佳盐度,以期对河川沙塘鳢育苗工艺的改进提供能量学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

河川沙塘鳢亲鱼购自上海市铜川路水产品

* 上海市科学技术委员会重大项目, 04DZ19301 号;重庆市动物生物学重点实验室项目, 0402 号。胡先成, 博士, 副教授, E-mail: hww@cqnu.edu.cn

通讯作者: 赵云龙, 教授, E-mail: ylzhao@bio.ecnu.edu.cn

收稿日期: 2007-02-23, 收修改稿日期: 2007-09-25

集贸市场。采用干法授精获得受精卵,立即将消除粘性的受精卵置于淡水、1.00、2.00、3.00、4.00、5.00 盐度等不同水体中孵化。仔鱼孵出后不投喂饵料,直至仔鱼卵黄耗尽,计算各盐度水体中仔鱼的孵化率和成活率。

1.2 方法

实验在自制的密闭呼吸瓶中进行。用 500ml 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 粒受精卵不等,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解氧含量,然后用双层封口膜封口,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。设置淡水、1.00、2.00、3.00、4.00、5.00 盐度共 6 个组,每组设 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 24h,根据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保持在 4.5mg/L 以上,确保胚胎耗氧率不受缺氧环境影响。实验结束时迅速测定呼吸瓶中水体的溶氧,每个呼吸瓶测定 3 个数据,同时用 50ml 的三角瓶取 3 个水样,用于测定水体的氨氮。之后,即刻换水开始新的一次实验,这样连续进行实验至仔鱼卵黄吸收完毕即仔鱼期结束,每天换水和测定的时间保持一致,整个实验的时间为 31 天。主要以受精卵、卵裂期胚、囊胚、原肠胚、眼晶体形成期胚、眼黑色素出现期胚、孵化前胚、初孵仔鱼、卵黄耗尽仔鱼共 9 个发育阶段在不同盐度下的耗氧率、氨氮排泄率进行比较。在每个发育阶段都从各盐度的非实验水体中取样 50 粒或尾,用滤纸吸干水分后,在德国 Sartorius 电子天平上称湿重(精确至 0.01mg),将样品置于 70 的烘箱中烘干 24h 后称干重。光照周期为 12L 12D。

用美国 HACH 公司的 HQ10 型溶氧测定仪测定水体中的溶氧量。用纳氏试剂分光光度法测定水体中的氨氮含量。采用美国 Parr 6300 型氧弹式热量计测定受精卵和各盐度水体中卵黄耗尽仔鱼的比能值。

1.3 数据处理

1.3.1 耗氧率(R_0)及代谢能(R)的计算 个体耗氧率 $[\mu\text{g O}_2/(\text{尾}\cdot\text{h})]=[\text{呼吸瓶容积}\times(\text{实验开始$

时呼吸瓶水样溶氧量 - 实验结束时呼吸瓶水样溶氧量) - (呼吸瓶容积 \times 水呼吸耗氧量)]/(胚胎或仔鱼数量 \times 测定时间)。

个体在整个发育期间的代谢耗能(R)以个体在整个发育期间的总耗氧量来计算,耗氧量热量转换系数为 13.54J/mg O_2 (崔奕波,1989)。

1.3.2 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率(R_N)及排泄能(U)的计算 个体 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率 $[\mu\text{g N}/(\text{尾}\cdot\text{h})]=\text{呼吸瓶容积}\times(\text{实验结束时呼吸瓶水样 } \text{NH}_3\text{-N 含量} - \text{实验结束时对照瓶水样 } \text{NH}_3\text{-N 含量})/(\text{胚胎或仔鱼数量}\times\text{测定时间})$ 。

个体在整个发育期间的排泄耗能(U)以个体在整个发育期间的总 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄量来计算,转换系数为 24.83J/mgN(崔奕波,1989)。

1.3.3 食物能(C)的计算 在整个胚胎和仔鱼发育过程中,其胚体和仔鱼的生长发育完全依靠受精卵所含有的卵黄物质。这样,在能量收支方程中的食物能即为刚受精的卵所含卵黄物质的能量含量。食物能(C)=受精卵的能量含量 - 卵膜的能
量含量=(受精卵干重 \times 受精卵的比能值) - 卵膜的能
量含量。

卵膜的能
量含量通过直接法计算,即:卵膜的能
量含量 = 受精卵能量含量 - 剥除卵膜的受
精卵能量含量。

1.3.4 生长能(G)的计算 在整个胚胎和仔鱼发育阶段的能量收支方程中的生长能即为卵黄耗尽仔鱼的能
量含量。生长能=卵黄耗尽仔鱼干重 \times 仔鱼的比能值。

以上所得数据均用 SPSS11.5 软件进行方差分析,并进行 Duncan 多重比较。

2 结果

2.1 盐度对胚胎、仔鱼标准代谢率的影响

连续测定了淡水、1.00、2.00、3.00、4.00、5.00 盐度共 6 个组的河川沙塘鳢胚胎和仔鱼发育期间的耗氧率。受精卵()、卵裂期胚()、囊胚()、原肠胚()、眼晶体形成期胚()、眼黑色素出现期胚()、孵化前胚()、初孵仔鱼()、卵黄耗尽仔鱼()9 个发育阶段的耗氧率以及胚胎、仔鱼发育期间的总耗氧量和代谢能见表 1。5.00 盐度下的胚胎只发育到尾芽期便全部死亡,4.00 盐度下的胚胎也只发育到孵化前期。刚受精的卵,其耗氧率比较低,随着胚胎的不断发育,其耗氧率逐渐增高,到孵化前胚,其耗氧率达到

胚胎发育阶段的最高值。仔鱼孵出后,其耗氧率急剧增高,随后,仔鱼的耗氧率保持相对稳定,到卵黄耗尽时,其耗氧率稍有下降。方差分析表明,盐度对受精卵($F=51.80, P<0.01$)、卵裂期胚($F=22.58, P<0.01$)、囊胚($F=22.40, P<0.01$)、原肠胚($F=11.47, P<0.01$)、眼晶体形成期胚($F=7.05, P<0.01$)、眼黑色素出现期胚($F=6.04, P=0.01$)、孵化前胚($F=4.89, P<0.05$)、初孵仔鱼($F=4.17, P<0.05$)、卵黄耗尽仔鱼($F=5.16, P<0.05$)的耗氧率都有显著影响。

河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育期间,总耗氧量最低的是在 1.00 盐度条件下,平均为 445.22 μg ,其次是在 2.00 盐度条件下,平均为 465.10 μg ,总耗氧量最高的是在淡水条件下,达到 501.46 μg 。方差分析表明,盐度对河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育期间的总耗氧量有极显著的影响($F=8.31, P<0.01$)。

整个胚胎、仔鱼发育期间,代谢耗能最低的是在 1.00 盐度条件下,平均为 6.03J,最高的是在淡水条件下,平均为 6.79J。方差分析表明,盐度对河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育期间的总代谢能有极显著的影响($F=8.42, P<0.01$)。

2.2 盐度对胚胎、仔鱼 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率的影响

不同盐度下河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育期间的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率、总 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排放量和总排泄耗能见表 2。随着发育的推进, $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率从受精

卵期开始稳步增高,当仔鱼孵出时达到最高,之后, $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率在稳定一段时间后逐渐降低。随着水体盐度的增加,其 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率总的趋势是增高的。方差分析表明,盐度对受精卵($F=44.93, P<0.01$)、卵裂期胚($F=6.70, P<0.01$)、囊胚($F=6.68, P<0.01$)、原肠胚($F=9.22, P<0.01$)、眼晶体形成期胚($F=103.38, P<0.01$)、眼黑色素出现期胚($F=452.89, P<0.01$)、孵化前胚($F=422.72, P<0.01$)、初孵仔鱼($F=97.42, P<0.01$)、卵黄耗尽仔鱼($F=88.42, P<0.01$)的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率都有极显著的影响。

在淡水条件下,整个胚胎、仔鱼发育期间的总 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排放量为最低,平均为 36.38 μg 。随着盐度的增加,总 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排放量明显增高。在 3.00 盐度条件下,其总 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排放量达到最高,为 66.04 μg 。方差分析表明,盐度对胚胎、仔鱼发育期间的总 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排放量有极显著的影响($F=131.23, P<0.01$)。Duncan 多重比较表明,各盐度水体中胚胎、仔鱼发育期间的总 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排放量之间都存在显著的差异。

随着盐度的增加,胚胎、仔鱼发育期间的总排泄耗能明显增高,方差分析表明,盐度对胚胎、仔鱼发育期间的总排泄能有极显著的影响($F=83.54, P<0.01$)。Duncan 多重比较也表明,各盐度水体中胚胎、仔鱼发育期间的总排泄能之间都存在显著的差异。

表 1 不同盐度下河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育期间的耗氧率 [$\mu\text{g O}_2/(\text{尾}\cdot\text{h})$]、总耗氧量 ($\mu\text{g O}_2/\text{尾}$) 和代谢能 (J)

Tab.1 Oxygen consumption rate [$\mu\text{g O}_2/(\text{fish}\cdot\text{h})$], total oxygen consumption ($\mu\text{g O}_2/\text{fish}$), and metabolism energy (J) during embryonic and larval development of *O. potamophila* under different salinities

项目	盐度				
	淡水	1.00	2.00	3.00	4.00
耗	0.039 ± 0.001 ^a	0.024 ± 0.001 ^b	0.024 ± 0.003 ^b	0.046 ± 0.004 ^c	0.034 ± 0.001 ^d
	0.045 ± 0.004 ^a	0.024 ± 0.003 ^b	0.027 ± 0.004 ^b	0.022 ± 0.001 ^b	0.034 ± 0.004 ^c
氧	0.152 ± 0.004 ^{ac}	0.132 ± 0.007 ^{bd}	0.140 ± 0.009 ^{bc}	0.122 ± 0.011 ^d	0.188 ± 0.013 ^e
	0.199 ± 0.012 ^a	0.162 ± 0.010 ^b	0.197 ± 0.015 ^a	0.211 ± 0.004 ^{ac}	0.230 ± 0.018 ^{cd}
率	0.216 ± 0.014 ^{ab}	0.187 ± 0.030 ^a	0.189 ± 0.023 ^a	0.232 ± 0.003 ^{bc}	0.253 ± 0.008 ^c
	0.286 ± 0.013 ^{ac}	0.256 ± 0.024 ^b	0.268 ± 0.006 ^{ab}	0.287 ± 0.005 ^{ad}	0.307 ± 0.012 ^{cd}
总耗氧量	0.705 ± 0.024 ^a	0.620 ± 0.037 ^b	0.613 ± 0.050 ^b	0.713 ± 0.051 ^a	—
	1.606 ± 0.011 ^a	1.524 ± 0.026 ^b	1.604 ± 0.053 ^a	1.614 ± 0.039 ^a	—
代谢能	1.500 ± 0.133 ^a	1.220 ± 0.075 ^b	1.309 ± 0.122 ^b	1.258 ± 0.133 ^b	—
	501.46 ± 13.47 ^a	445.22 ± 12.66 ^b	465.10 ± 14.09 ^{bc}	491.76 ± 20.13 ^{ac}	—
	6.79 ± 0.18 ^a	6.03 ± 0.017 ^b	6.30 ± 0.19 ^{bc}	6.66 ± 0.27 ^{ac}	—

注: 耗氧率右列罗马字母表示不同发育时期。同一行中的不同上标字母表示经 Duncan 多重比较差异显著 ($P<0.05$)

表2 不同盐度下河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育期间的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率 [$\mu\text{g N}/(\text{尾}\cdot\text{h})$]、总 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排放量 ($\mu\text{g N}/\text{尾}$) 和排泄能 (J)

Tab.2 $\text{NH}_3\text{-N}$ excretion rate [$\mu\text{g N}/(\text{fish}\cdot\text{h})$], total $\text{NH}_3\text{-N}$ excretion ($\mu\text{g N}/\text{fish}$), and excretion energy (J) during embryonic and larval development of *O. potamophila* under different salinities

项目	盐度				
	淡水	1.00	2.00	3.00	4.00
排 泄 率	0.0022 ± 0.0004^a	0.0056 ± 0.0004^b	0.0042 ± 0.0008^{cd}	0.0040 ± 0.0009^d	0.0084 ± 0.0001^e
	0.0043 ± 0.0008^a	0.0046 ± 0.0006^{ab}	0.0053 ± 0.0005^{ac}	0.0062 ± 0.0009^{bcd}	0.0082 ± 0.0015^e
	0.0096 ± 0.0011^{ac}	0.0088 ± 0.0007^{ab}	0.0080 ± 0.0013^a	0.0099 ± 0.0006^{bcd}	0.0118 ± 0.0009^e
	0.0148 ± 0.0012^{ab}	0.0129 ± 0.0005^a	0.0106 ± 0.0016^c	0.0136 ± 0.0009^{ad}	0.0152 ± 0.0006^{bde}
	0.0274 ± 0.0005^a	0.0204 ± 0.0004^b	0.0171 ± 0.0022^c	0.0264 ± 0.0007^{ad}	0.0342 ± 0.0008^e
	0.0387 ± 0.0015^a	0.0375 ± 0.0013^{ab}	0.0402 ± 0.0017^{ac}	0.0716 ± 0.0023^d	0.0855 ± 0.0021^e
	0.0499 ± 0.0019^a	0.0545 ± 0.0022^{ab}	0.0632 ± 0.0011^c	0.1169 ± 0.0042^d	—
	0.0927 ± 0.0037^a	0.1317 ± 0.0088^b	0.1571 ± 0.0021^c	0.1675 ± 0.0064^c	—
总 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排放量	0.0907 ± 0.0018^a	0.1295 ± 0.0043^b	0.1256 ± 0.0022^b	0.1060 ± 0.0042^c	—
	36.38 ± 1.16^a	44.38 ± 2.11^b	49.11 ± 2.36^c	66.04 ± 3.38^d	—
排泄能	0.90 ± 0.03^a	1.10 ± 0.05^b	1.22 ± 0.06^c	1.64 ± 0.08^d	—

注: $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率右列罗马字母表示不同发育时期。同一行中的不同上标字母表示经 Duncan 多重比较差异显著 ($P < 0.05$)

2.3 胚胎、仔鱼发育期间的氧氮比

在不同盐度下河川沙塘鳢胚胎和仔鱼发育期间的氧氮(O:N)比见表3。随着盐度的升高,胚胎发育期间和仔鱼发育期间的O:N比都降低。各种盐度下,胚胎发育期间的氧氮比都明显低于仔鱼发育期间的氧氮比。方差分析表明,盐度对胚胎发育期间($F = 574.25, P < 0.01$)、仔鱼发育期间($F = 331.61, P < 0.01$)和整个早期发育过程中($F = 355.03, P < 0.01$)的O:N比都有极显著的影响。

2.4 不同盐度下胚胎、仔鱼发育期间的能量收支

对淡水、1.00、2.00、3.00盐度共4个水体中的河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育期间各能量组分进行计算,其结果见表4。方差分析表明,不同盐度中刚受精的卵,其卵黄能量含量即食物能(C)没有显著差异($F = 0.16, P = 0.92$);但盐度对胚

胎、仔鱼发育期间的总排泄能(U)和总代谢能(R)有极显著的影响($P < 0.01$),而且盐度也对卵黄蛋白的转化效率即仔鱼的生长能(G)有极显著的影响($F = 45.38, P < 0.01$)。在1.00盐度下,卵黄蛋白的转化利用效率最高,生长能达到最高值,为10.07J;其次是2.00盐度下,生长能为9.68J;在淡水环境下,生长能为9.47J;最低的是3.00盐度下,生长能为8.95J。

在胚胎发育期间,胚体没有排粪能的损失;在仔鱼发育期间,由于仔鱼处于完全饥饿的状态,仔鱼没有摄取外界食物,没有粪便排出,也就没有排粪能的损失。所以,在整个胚胎、仔鱼发育期间的能量收支方程应该为 $C = U + R + G$ 。淡水、1.00、2.00、3.00盐度共4个水体中的河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育期间的能量收支状况见表5。

表3 不同盐度下河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育期间的氧氮比(O:N)

Tab.3 Oxygen nitrogen ratio (O:N) during embryonic and larval development of *O. potamophila* under different salinities

盐度	胚胎发育期间氧氮比	仔鱼发育期间氧氮比	总氧氮比
淡水	11.26 ^a	17.26 ^a	13.78 ^a
1.00	8.51 ^b	12.10 ^b	10.03 ^b
2.00	8.99 ^c	9.97 ^c	9.47 ^c
3.00	5.67 ^d	10.68 ^d	7.45 ^d

注:同一列中的不同上标字母表示经 Duncan 多重比较差异显著 ($P < 0.05$)

表 4 不同盐度下河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育期间各能量组分的平均值

Tab.4 Energy component (Mean) during embryonic and larval development of *O. potamophila* under different salinities

盐度	能量组分(J)			
	C	U	R	G
淡水	17.16 ^a	0.90 ^a	6.79 ^a	9.47 ^a
1.00	17.20 ^a	1.10 ^b	6.03 ^b	10.07 ^b
2.00	17.20 ^a	1.22 ^c	6.30 ^{bc}	9.68 ^a
3.00	17.25 ^a	1.64 ^d	6.66 ^{ac}	8.95 ^c

注: 同一列中的不同上标字母表示经 Duncan 多重比较差异显著($P < 0.05$)

表 5 不同盐度下河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育期间的能量收支

Tab.5 Energy budget during embryonic and larval development of *O. potamophila* under different salinities

盐度	能量收支(%)			
	C =	U +	R +	G
淡水	100	5.24	39.57	55.19
1.00	100	6.40	35.06	58.55
2.00	100	7.09	36.63	56.28
3.00	100	9.51	38.61	51.88

在 1.00 盐度下, 其食物能的 58.55% 转化为仔鱼的生长能, 转化效率最高, 其次是在 2.00 盐度下, 食物能的 56.28% 转化为仔鱼的生长能, 转化效率最低的是在 3.00 盐度下, 食物能中仅有 51.88% 转化为仔鱼的生长能。

3 讨论

3.1 盐度对标准代谢和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率的影响

盐度对代谢水平的影响是通过影响鱼类的渗透调节耗能而实现的。鱼体内外环境渗透压差越小, 维持体内渗透压所消耗的能量也会越少。对于淡水鱼类来讲, 盐度的稍为升高将减少离子梯度, 使渗透调节耗能下降。云斑 和叉尾 体内的渗透压差或离子梯度减小时, 其耗氧率下降(Furspan, 1984)。淡水鱼类最佳盐度的高低存在着种间差异, 取决于该种鱼类的适应能力。一些具有较高盐度适应能力的淡水鱼类如鲤、鲫、雅罗鱼、青海湖裸鲤等, 该最佳盐度则可能较高(戴祥庆等, 1998)。对于大多数狭盐性淡水鱼类, 该最佳盐度则可能较低。淡水鱼类胚胎和仔鱼尽管对盐度的适应能力比成鱼稍弱, 但也存在最佳盐度值。对鲤的研究表明, 在淡水中分别添加 1%、5% 和 10% 的海水(盐度分别为 0.3、1.5 和 3.0), 可以提高卵的存活率和孵化率, 在上述盐度范围内, 仔鱼的生长和发育随盐度的增加而加快(Lam et

al, 1985)。王瑁(1998)的研究也发现鲤鱼在氯化钠浓度为 2.5 时的耗氧率最低。本研究的结果表明, 河川沙塘鳢胚胎和仔鱼发育过程中也有其最佳盐度。在盐度为 1.00 时, 其代谢率和代谢耗能最低, 在淡水和 3.00 盐度下的代谢率和代谢耗能都较高。河川沙塘鳢胚胎在发育过程中是静止的, 其仔鱼是属于伏击摄食类型, 但在仔鱼发育过程中没有投放饵料, 这样, 在绝大多数情况下仔鱼也是静止的, 因此, 本实验过程中所测得的代谢率就是标准代谢率。可见, 盐度对河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育过程中的标准代谢率有显著影响, 且本实验的结果显示其最佳盐度为 1.00。

在河川沙塘鳢胚胎、仔鱼发育期间, 盐度对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率有显著的影响, 随着盐度的升高, $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率也明显增高。鱼类的排氮主要是蛋白质代谢中氨基酸的脱氨作用产生的, 而环境盐度对氨基酸脱氨作用发挥影响的机制尚有待于进一步研究。

在河川沙塘鳢的胚胎发育过程中, 随着胚胎的不断发育, 其耗氧率和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率都逐渐增高。仔鱼孵出后, 其耗氧率和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率急剧增高, 随后, 仔鱼的耗氧率和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率保持相对稳定, 到卵黄耗尽时, 其耗氧率和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率均稍有下降。这是由于随着胚胎的不断发育,

其组织、器官逐步形成,代谢水平逐渐提高;到仔鱼孵出后,其组织分化、器官发育更为迅速,新陈代谢非常旺盛,致使仔鱼的耗氧率和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 排泄率急剧增高;到后期,仔鱼没有摄食而处于饥饿状态,仔鱼为了适应这种饥饿胁迫,减少耗能,从而降低其代谢水平。

3.2 能源物质分析

Harris(1959)研究指出,利用 O/N 比能够估计动物代谢中能源的化学本质;Mayzand(1976)认为若完全以蛋白质为氧化基质提供能量,其 O/N 比为 7—10;随着脂类和碳水化合物被利用比例的增高,其 O/N 比逐渐增大(王波等,2004)。实验研究表明:鱼类也基本符合同样的规律,成鱼能利用的能源物质有蛋白质、脂肪和糖类可供选择,而在其胚胎和仔鱼发育过程中,可供利用的能源物质就是卵黄所含有的蛋白质和脂肪,且蛋白质所占的比例较高,这样,O/N 比相对而言可能较低。在河川沙塘鳢整个胚胎和仔鱼发育期间,随着盐度的增高,其 O/N 比明显降低,这是由于蛋白质用于氧化供能的比例随盐度的增高而相对增加。胚胎发育期间的 O/N 比高于仔鱼发育期间的 O/N 比,说明在胚胎发育期间,蛋白质作为能源物质的比例相对较高,而在仔鱼发育期间,脂肪作为能源物质的比例相对增加。这与在河川沙塘鳢早期发育过程中所观察到的结果是一致的,其卵黄中的脂质油球主要是在仔鱼发育期间才被大量利用。

3.3 盐度对能量收支的影响

在胚胎和仔鱼发育期间,盐度对能量收支过程中各组分的分配有显著的影响。以 1.00 盐度条件下的能量分配模式为最佳模式,其代谢耗能占食物能的比例(R/C)最低,为 35.06%,而生长能占食物能的比例(G/C)最高,达到 58.55%,能量收支方程为: $100C = 6.40U + 35.06R + 58.55G$ 。由此可见,1.00 的盐度是河川沙塘鳢胚胎和仔鱼发育过程中的最佳盐度,在此盐度下,卵黄物质的利用效率最高,仔鱼孵化率和存活率(分别为 76% 和 72%)最高。在对鲤鱼、花鲈、红罗非鱼的研究中,盐度对其能量收支都有显著的影响,而且都存在一个取得最佳能量分配模式的盐度(邱德依等,1995;戴祥庆等,1998;雷思佳等,1999)。在河川沙塘鳢胚胎和仔鱼发育过程中,其排泄能所占比例很低,代谢能所占比例较高,而占食物能

比例最高的是生长能,4 个盐度条件下都超过了 50%,说明早期发育过程中的河川沙塘鳢是一种高生长效率的鱼类。这与其仔鱼具有较完备的组织器官发育状况、具有较强的活动能力、能有效地实现从内源性营养到外源性营养的转化、同时具有很高的存活率是密切相关的(胡先成,1996;胡先成等,1996;谢仰杰等,1996)。

参 考 文 献

- 王 波,李继强,曹志海等,2004. 大西洋牙鲆幼鱼标准代谢的初步研究. 海洋科学进展, 22(1): 62—68
- 王 璠,1998. 海淡水鱼类能量收支的比较综述. 海洋湖沼通报, 3: 64—68
- 孙 耀,张 波,郭学武等,1999. 温度对真鲷能量收支的影响. 海洋水产研究, 20(2): 54—59
- 邱德依,秦克静,1995. 盐度对鲤能量收支的影响. 水产学报, 19(1): 35—42
- 郑建民,李加儿,区又君,1991. 黑鲷 *Sparus macrocephalus* (Basilewsky) 稚鱼耗氧率的初步研究. 海洋通报, 10(4): 47—51
- 胡先成,1996. 河川沙塘鳢的器官发育. 重庆师范学院学报(自然科学版), 13(1): 27—31
- 胡先成,孙帽英,1996. 河川沙塘鳢消化系统的发育及仔、稚、幼鱼摄食的研究. 上海水产大学学报, 5(2): 75—82
- 胡先成,周忠良,赵云龙等,2007. 河川沙塘鳢孵化腺的发生及孵化酶的分泌. 动物学报, 53(3): 511—518
- 唐启升,孙 耀,张 波,2003. 7 种海洋鱼类的生物能量学模式. 水产学报, 27(5): 443—449
- 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
- 谢仰杰,孙帽英,1996. 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. 厦门水产学院学报, 18(1): 55—62
- 雷思佳,叶世洲,李德尚等,1999. 盐度对台湾红罗非鱼能量收支的影响. 华中农业大学学报, 18(3): 256—259
- 雷思佳,李德尚,2000. 温度对台湾红罗非鱼能量收支的影响. 应用生态学报, 11(4): 618—620
- 戴祥庆,肖 雨,董 娟等,1998. 温度、盐度对花鲈能量收支的影响. 上海水产大学学报, 7(1): 1—7
- Cui Y, Chen S, Wang S, 1994. Effect of ration size on the growth and energy budget of the grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val. Aquaculture, 123(1—2): 95—107
- Cui Y, Liu J, 1990. Comparison of energy budget among six teleosts-III. Growth rate and energy budget. Comparative Biochemistry and Physiology, 97A(3): 381—384
- Cui Y, Liu X, Wang S *et al*, 1992. Growth and energy budget in young grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val., fed

- plant and animal diets. *Journal of Fish Biology*, 41: 231—238
- Furspan P, 1984. Energetics and osmoregulation in the catfish, *Ictalurus nebulosus* and *I. greenwald*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 77A: 773—778
- Harris E, 1959. The nitrogen cycle in Long Island Sound. *Bull Bingham Oceanogr, Collect*, 17: 31—65
- Jaworski A, Kamler E, 2002. Development of a bioenergetics model for fish embryos and larvae during the yolk feeding period. *Journal of Fish Biology*, 60: 785—809
- Lam T J, Sharma R, 1985. Effects of salinity and thyroxine on larval survival growth and development in the carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture*, 44: 201—212
- Lemos D, Netto B, Germano A, 2006. Energy budget of juvenile fat snook *Centropomus parallelus* fed live food. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 144A: 33—40
- Mayzand P, 1976. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton. . The influence of starvation on the metabolism and biochemical composition of some species. *Mar Biol*, 37: 47—58
- Sun L, Chen H, Huang L *et al*, 2006a. Growth and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) relative to ration. *Aquaculture*, 257: 214—220
- Sun L, Chen H, Huang L *et al*, 2006b. Growth, faecal production, nitrogenous excretion and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) relative to feed type and ration level. *Aquaculture*, 259: 211—221
- Xie S, Cui Y, Yang Y *et al*, 1997a. Energy budget of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in relation to ration size. *Aquaculture*, 154: 57—68
- Xie S, Cui Y, Yang Y *et al*, 1997b. Effect of body size on growth and energy budget of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 157: 26—34

EFFECT OF SALINITY ON ENERGY BUDGET DURING EMBRYONIC AND LARVAL DEVELOPMENT OF *ODONTOBUTIS POTAMOPHILA*

HU Xian-Cheng^{1,2}, ZHOU Zhong-Liang², ZHAO Yun-Long², WANG Yan¹,
QIN Fen², XU Xiao-Qian²

(1. Key Laboratory of Animal Biology, Chongqing Normal University, Chongqing, 400047; 2. School of Life Science, East China Normal University, Shanghai, 200062)

Abstract Using a system of fish-bioenergetics, the energy conversion of *Odontobutis potamophila* (Günther) during embryonic and larval development was studied under different salinities of 0.00, 1.00, 2.00, 3.00 and 4.00. The results show that the salinity effects on oxygen consumption rate and NH₃-N excretion rate were significant. The oxygen consumption rate was the minimum at salinity of 1.00. The NH₃-N excretion rate was the minimum at salinity of 0.00 and increased gradually with the increase in salinity. The salinity effect on energy budget was also significant. At salinity of 1.00, the proportion of food energy allocated to metabolism (*R/C*) was the minimum (35.06%), and that to growth (*G/C*) was the maximum (58.55%). The mode of energy allocation at salinity of 1.00 was the best.

Key words *Odontobutis potamophila* (Günther), Embryo, Larval fish, Salinity, Oxygen consumption rate, NH₃-N excretion rate, Energy budget