

# 温度对黑鲷幼鱼耗氧率和排氨率的影响

唐道军 徐善良\* 马斌

宁波大学海洋学院 宁波 315211

**摘要:** 本文研究了温度对饱食和饥饿状态下黑鲷 (*Girella melanichthys*) 幼鱼耗氧率和排氨率的影响。结果表明: 在温度为 15 ~ 30℃ 范围内, 黑鲷幼鱼在饱食状态下的耗氧率、饥饿状态下的耗氧率、饱食状态下的排氨率和摄食率均随温度的升高而增加 ( $P < 0.01$ ), 30℃ 时达到最大, 温度为 32℃ 时, 均下降; 在温度为 15 ~ 32℃ 范围内, 黑鲷幼鱼在饥饿状态下的排氨率随温度升高而增加 ( $P < 0.01$ ), 32℃ 时达到最大。多项指标表明黑鲷幼鱼生长适温在 30℃ 左右。

**关键词:** 温度; 黑鲷; 耗氧率; 排氨率; 摄食率

**中图分类号:** Q943 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2013)02-256-05

## Influence of Temperature on Oxygen Consumption and Ammonia Excretion of Juvenile *Girella melanichthys*

TANG Dao-Jun XU Shan-Liang\* MA Bin

School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China

**Abstract:** In this paper the influence of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile *Girella melanichthys* in hunger and satiety were studied. The results show that rate of oxygen consumption in both fasting and over fed fish, rate of ammonia excretion in the fasting fish is increased with the temperature between 15°C and 30°C ( $P < 0.01$ ) and reaches to the peak at 30°C. While the rate is decreased when the temperature is at 32°C. For fasting fish, the ammonia excretion go up with temperature ascending in the range between 15°C to 32°C ( $P < 0.01$ ), and arrives to the peak at 32°C. The results confirm that 30°C is the optimal temperature for the fish growth.

**Key words:** Temperature; *Girella melanichthys*; Oxygen consumption; Ammonia excretion; Ingestion rate

鱼类的代谢和排泄是鱼类生物能量学研究的重要领域, 除取决于鱼体大小外, 还受到温度、盐度、溶解氧、pH 等诸多环境因子的影响。耗氧率和排氨率在很大程度上反映了鱼类新陈代谢的规律及生理状况。研究鱼类的代谢和排泄, 不仅为鱼类呼吸生理研究提供理论依据, 还有助于了解鱼类对外界环境条件的适应能力, 从而为人工育苗和养殖生产等提供理论指导。有关鱼类的代谢和排泄, 国内外学者已经做了大量的研究工作, Fry (1957) 和 Brett 等 (1979) 曾综述了鱼类耗氧率与温度关系; 杨振才等

(1995) 测定了不同温度下鲈鱼 (*Silurus asotus*) 的静止代谢率; 闫茂仓等 (2008) 研究了体重、温度及盐度对条石鲷 (*Oplegnathus fasciatus*) 代谢率和排氨率的影响。

**基金项目** 国家海洋局“海洋公益性行业科研专项”(No. 201105009-3), 宁波市重大攻关项目 (No. 2012C10020), 宁波大学学科项目 (No. xk1104);

\* 通讯作者, E-mail: xushanliang@nbu.edu.cn;

**第一作者介绍** 唐道军, 男, 助理实验师; 研究方向: 鱼类能量学、鱼类养殖学; E-mail: tangdaojun@nbu.edu.cn。

收稿日期: 2012-10-19, 修回日期: 2013-01-10

黑鲷 (*Girella melanichthys*) 隶属鲈形目鲈亚目鲷科鲷属, 俗称黑毛, 又名小鳞黑鲷, 属杂食性亚热带岩礁性鱼类, 尤其是幼鱼期在沿岸礁石区内常可见。黑鲷在中国产于东海, 近几年才开发为新的养殖品种, 缺乏基础研究资料 (陈舜等 2008)。本文以黑鲷幼鱼为研究对象, 研究温度对其摄食率、耗氧率和排氨率的影响, 以揭示黑鲷幼鱼的代谢、排泄特征及摄食规律, 为黑鲷人工育苗和养殖技术的改进提供科学依据。

## 1 材料与方法

**1.1 实验材料** 实验于 2008 年 4 月在浙江省温州市南麂岛上进行。以体重为  $(1.85 \pm 0.38) \text{ g}$  ( $n=22$ ) 的南麂岛网箱养殖黑鲷幼鱼为实验材料, 实验前将实验鱼暂养于室内水泥池中。以桡足类为饵料, 每天上、下午各投喂一次。实验用水为天然海水, 盐度为 27.5‰。暂养期间, 水温  $(25 \pm 0.2) \text{ }^\circ\text{C}$ , pH 为  $7.8 \pm 0.1$ 。然后根据实验设计分组暂养, 在进行实验测定前将水温以每天  $1 \sim 2 \text{ }^\circ\text{C}$  的速度升高或降低至实验温度, 并在实验温度下驯养 1 周, 于实验鱼正常摄食后开始实验。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 实验装置** 实验装置为自制密封静水式呼吸测定仪, 以 1.25 L 带密封塞的塑料呼吸瓶作为实验瓶。实验瓶以恒温水浴控温, 温度误差在  $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  内。

**1.2.2 实验设计及方法** 实验设 15、20、25、30、32 $^\circ\text{C}$  5 个温度梯度, 每个温度下分饥饿组和饱食组进行测定。其中, 饥饿组将鱼饥饿 2 d, 保证实验鱼处于空腹状态为标准, 摄食组以投喂桡足类后 30 min 内摄食完毕、无残饵为标准。投喂 1 h 后, 将实验鱼移入代谢瓶中, 利用水位差, 使水流入瓶内并溢流数分钟后再封闭开关。每次实验均设 3 个重复, 1 个空白对照组, 每个测定组同时放置 2 尾幼鱼。根据水温将实验时间定为 2~3 h, 以保证实验结束时代谢瓶中溶解氧浓度仍保持在 3.0 mg/L 以上。实验结束后, 测定实验瓶中水样的溶解氧和

$\text{NH}_3\text{-N}$  浓度。溶氧量测定采用 Winkler 氏碘量法,  $\text{NH}_3\text{-N}$  测定采用  $\mu\text{mac-1000}$  便携式水质分析仪 (SYSTEA s. r. l-ROME-ITALY)。用滤纸吸干鱼体表面水分, 在电子天平上称湿重 (精确至 0.01 g)。

**1.2.3 数据处理方法** 实验数据采用 Excel 和 SPSS 10.0 for windows 进行方差和多重比较统计分析。耗氧率 ( $R_0$ ) 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  排氨率 ( $R_N$ ) 根据以下公式计算:  $R_0 [\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})] = (C_0 - C_1) \cdot V / (W \cdot T)$ ,  $R_N [\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})] = (C_1' - C_0') \cdot V / (W \cdot T)$ , 式中,  $C_0$  为实验结束时对照瓶中的溶解氧含量 (mg),  $C_1$  为实验结束时代谢瓶中的溶解氧含量 (mg);  $C_0'$  为实验结束时对照瓶中的  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量 (mg),  $C_1'$  为实验结束时代谢瓶中的  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量 (mg);  $V$  为实验瓶容积 (L);  $W$  为实验鱼湿重 (g);  $T$  为实验时间 (h)。

$Q_{10} = (R_2/R_1)^{10/(t_2-t_1)}$ , 式中,  $Q_{10}$  为温度对耗氧率的影响评价;  $R_1$ 、 $R_2$  分别为温度 ( $^\circ\text{C}$ )  $t_1$ 、 $t_2$  时的耗氧率 [ $\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ]。

摄食率 =  $W'/W$ , 式中,  $W'$  为饵料湿重 (g),  $W$  为实验鱼湿重 (g)。

氨熵 =  $R_N/R_0$ , 式中,  $R_N$  为  $\text{NH}_3\text{-N}$  排氨率  $\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ;  $R_0$  为耗氧率  $\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。

## 2 结果

**2.1 温度对黑鲷幼鱼摄食率的影响** 不同温度下, 黑鲷幼鱼的摄食率见表 1。在温度 15~30 $^\circ\text{C}$  时, 摄食率随温度的升高增加, 摄食率 ( $C$ ) 和温度 ( $t$ ) 相关关系可用幂函数:  $C = 0.0008 t^{3.3409}$  ( $R^2 = 0.9899$ ,  $n = 19$ ) 进行拟合; 32 $^\circ\text{C}$  时, 摄食率显著下降。

**2.2 温度对黑鲷幼鱼耗氧率的影响** 不同温度下黑鲷幼鱼分别在饥饿和饱食状态下的耗氧率见表 2。本实验条件下, 在温度 15~30 $^\circ\text{C}$  时, 随温度的升高, 饥饿和饱食状态下的耗氧率都明显增加, 差异极显著 ( $P < 0.01$ ); 且分别可用幂函数: 饥饿  $R_0 = 0.0106 t^{1.1163}$  ( $R^2 = 0.9934$ ) 和饱食  $R'_0 = 0.0125 t^{1.1328}$  ( $R^2 = 0.9376$ ,  $n = 15$ ) 进行拟合。温度为 32 $^\circ\text{C}$  时, 饥饿和饱食状态下的耗氧率较 30 $^\circ\text{C}$  时下降。

表 1 温度对黑鲢幼鱼摄食率的影响

Table 1 The effect of temperature on feeding rate of *Girella leonina*

温度(℃) Temperature	实验鱼数量(尾) Quantity	平均体重(g) Body weight	摄食量(g) Digestion	摄食率(mg/g) Feeding rate
15	6	2.17 ± 0.18	0.055 ± 0.012	6.35 ± 1.12 <sup>a</sup>
20	6	2.24 ± 0.11	0.145 ± 0.023	16.18 ± 2.38 <sup>b</sup>
25	6	1.86 ± 0.36	0.305 ± 0.019	40.99 ± 2.59 <sup>c</sup>
30	6	2.15 ± 0.27	0.385 ± 0.029	59.69 ± 3.21 <sup>d</sup>
32	6	1.63 ± 0.38	0.105 ± 0.017	16.13 ± 2.17 <sup>e</sup>

表中同列字母相同表示两者之间无显著差异,字母不同表示差异显著。

In the table, the same column with same letters represent no significant differences, while the different letters indicate significant difference.

表 2 温度对黑鲢幼鱼耗氧率和排氨率的影响

Table 2 The effect of temperature on the oxygen consumption and ammonia excretion of *Girella leonina*

温度(℃) Temperature	体重(g) Body weight	耗氧率(mg/(g·h)) Oxygen consumption				排氨率(mg/(g·h)) Ammonia excretion		氨熵 Ammonia entropy	
		饥饿 Hungry	$Q_{10}$	饱食 Over-fed	$Q_{10}$	饥饿 Hungry	饱食 Over-fed	饥饿 Hungry	饱食 Over-fed
15	1.77 ± 0.49	0.216 ± 0.002 <sup>a</sup>	1.99	0.265 ± 0.003 <sup>a</sup>	2.14	0.0070 ± 0.0029 <sup>a</sup>	0.0650 ± 0.0052 <sup>a</sup>	0.033	0.246
20	2.22 ± 0.76	0.307 ± 0.046 <sup>b</sup>	1.75	0.380 ± 0.005 <sup>b</sup>	2.09	0.0134 ± 0.0031 <sup>b</sup>	0.0688 ± 0.0021 <sup>b</sup>	0.044	0.181
25	1.63 ± 0.05	0.410 ± 0.017 <sup>c</sup>	1.04	0.550 ± 0.000 <sup>c</sup>	1.23	0.0260 ± 0.0043 <sup>c</sup>	0.0871 ± 0.0035 <sup>c</sup>	0.063	0.158
30	1.81 ± 0.25	0.499 ± 0.024 <sup>d</sup>	0.96	0.610 ± 0.039 <sup>d</sup>	0.84	0.0276 ± 0.0057 <sup>d</sup>	0.0890 ± 0.0018 <sup>d</sup>	0.055	0.146
32	1.83 ± 0.24	0.490 ± 0.004 <sup>e</sup>		0.565 ± 0.027 <sup>e</sup>		0.0517 ± 0.0012 <sup>e</sup>	0.0467 ± 0.0027 <sup>e</sup>	0.105	0.083

表中  $Q_{10}$  为温度对耗氧率的影响评价;同列字母相同表示两者之间无显著差异,字母不同表示差异显著。

In the table,  $Q_{10}$  is the influence of temperature on oxygen consumption, the same column with same letters represent no significant differences, while the different letters indicate significant difference.

饱食和饥饿状态下黑鲢幼鱼的耗氧率差异极显著( $P < 0.01$ ),前者较后者高,增加范围为 18.11% ~ 35.85%。

在饥饿和饱食状态下,黑鲢幼鱼耗氧率的  $Q_{10}$  变化幅度不大(表 2),随着温度的升高,都表现出下降的趋势。

**2.3 温度对黑鲢幼鱼排氨率的影响** 温度对黑鲢幼鱼在饥饿和饱食状态下排氨率的影响见表 2。饥饿状态下,在温度 15 ~ 32℃ 时,随温度升高,排氨率显著增加,排氨率( $R_N$ )与温度( $t$ )的相关方程: $R_N = 10^{-5} t^{2.3395}$  ( $R^2 = 0.9449, n = 15$ );饱食状态下,在温度 15 ~ 30℃ 时,排氨率随温度升高而增加,但当温度 32℃ 时,反而下降。

32℃ 时,饥饿和饱食状态的排氨率无显著差异( $P > 0.05$ );在温度 15 ~ 30℃ 时,各个温度

下饱食状态的排氨率都高于饥饿状态的排氨率( $P < 0.01$ ),增加范围为 2.22 ~ 8.26 倍。

**2.4 氨熵随温度的变化** 在饥饿状态下,黑鲢幼鱼的氨熵随温度的升高而呈现增加的趋势(0.033 ~ 0.105);饱食与饥饿状态相比较,氨熵明显升高,最高氨熵达到 0.246(表 2)。

### 3 讨论

**3.1 温度对黑鲢幼鱼摄食的影响** 鱼类要维持生存,满足生长、发育、繁殖的需要,必须不断地从外界摄取食物。Brett 等(1979)提出当食物资源不受限制时,鱼类摄食率一般随温度上升而增加,但当温度超过最适温度时,摄食率则急剧下降;谢小军(1989)和崔奕波(1995)分别通过实验证实了这一观点。本文结果显示,在温度为 15 ~ 30℃ 时,黑鲢幼鱼的摄食率随温度

的升高而增加;当温度为 32℃ 时,其摄食率急剧下降到较低水平。表明 32℃ 已不适于黑鲢幼鱼的摄食和生长,其生长适温可能在 30℃ 左右。

有学者提出(杨振才等 1995,崔奕波等 2001,闫茂仓等 2008)鱼类摄食率随温度升高而增大的主要原因是:在适温范围内水温升高会使代谢率提高、能量增大,同时酶活力增加使消化速度加快。本实验中,温度由 15℃ 上升到 30℃ 和由 20℃ 上升到 30℃ 时,黑鲢幼鱼的摄食率分别上升了 9.4 倍和 3.7 倍,远远高于邱炜韬(2004)得出倒刺鲃(*Spinibarbus denticulatus*)摄食率从 24℃ 上升到 32℃ 时所上升的 1.4 倍。说明,黑鲢幼鱼随温度升高,其代谢和消化所消耗的能量比倒刺鲃要高,必须摄取更多的食物以满足其高消耗的需要,这与黑鲢属于高代谢消耗、低生长型的事实相符。

**3.2 温度对黑鲢幼鱼代谢率的影响** 温度是影响鱼类代谢最重要的因素之一。在适温范围内,温度越高,生理代谢水平越高,耗氧率必然随温度增加而增大。鱼类代谢由标准代谢、活动代谢和特殊动力作用(specific dynamic action, SDA)三者共同组成。本文饥饿状态下测定的黑鲢幼鱼耗氧率接近标准代谢,可称其为静止代谢;而摄食状态下测定的耗氧率可称为摄食代谢。结果显示,在温度 15~30℃ 时,黑鲢幼鱼饥饿状态的耗氧率随温度的升高而增加,这完全符合标准代谢随温度变化的一般规律,与钱薇薇(2001)、闫茂仓等(2008)的研究结果一致;当温度 32℃ 时,其饥饿状态的耗氧率出现下降。宋苏祥等(1997)曾提到,当温度超出生长适温时,鱼体的生理机能会发生极大变化,部分机能性代谢会停止活动,表现出耗氧率严重下降的现象。黑鲢幼鱼也表现出了这种规律,断定是因高温其生理功能紊乱所致;同时说明 32℃ 已超出其适温范围。

摄食率也是影响鱼类代谢的因素。本研究得到黑鲢幼鱼在适温范围内,摄食代谢率随温度升高而增加,随摄食率增加而增大。说明随摄食率增加,黑鲢幼鱼摄入体内蛋白质等代谢

底物增加的同时,需要消耗更多能量来消化,导致其摄食代谢率明显增加。

**3.3 温度对黑鲢幼鱼排氨率的影响** 鱼类排氨率受温度的影响非常大,闫茂仓(2008)提出温度对鱼类排氨率的影响主要是通过影响鱼体组织代谢速率实现。随温度升高,组织代谢加快,产生更多氨和尿素;但超出适温,组织代谢就会进入麻痹甚至停止状态,导致排氨率下降。本研究表明,饥饿状态下,黑鲢幼鱼的排氨率随温度升高而增加,与廖志洪等(2004)、谢小军(1989)和林小涛等(1999)的结果一致;饱食状态下,温度 15~30℃ 时,黑鲢幼鱼的排氨率亦是随温度上升而增加,但当温度 32℃ 时,其排氨率下降,这与闫茂仓(2008)对条石鲷的研究结果一致。胡灯进等(2005)提到,鱼类饱食状态的排氨率会明显高于饥饿状态。本文对黑鲢幼鱼的研究结果亦是如此,说明黑鲢幼鱼摄食后,随代谢率的增加,需要消化更多能量物质来满足生长和活动的需要,导致摄食后氨氮排氨率大幅增加;而当温度 32℃ 时,其饱食状态的排氨率下降,可能是因此温度已超出其生长适温而摄食率明显下降所致。

**3.4 温度对黑鲢幼鱼氨熵的影响** 氨熵(ammonia entropy, AQ)即排氨率与耗氧率的比值,反映蛋白质作为代谢底物供能占总供能的比例。已有研究表明(胡先成等 2008),在硬骨鱼类中, AQ 值为 0.33 表示能量全部以蛋白质为代谢底物所提供;高于 0.33,可能存在厌氧代谢;低于 0.33,则有部分脂肪和碳水化合物参与供能。本文结果显示,黑鲢幼鱼在饥饿状态的氨熵值在 0.033~0.105 之间,远小于 0.33,表明在饥饿状态,黑鲢幼鱼启动节约机制,大大降低蛋白质作为供能底物的比例,而更多地使用脂肪和碳水化合物供能,这与南方鲇(*S. meridionalis*) (谢小军 1989)、鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*) (马志敏 2004)和条石鲷(闫茂仓等 2008)等的研究结果一致。不同条件下,具有不同生理功能的脂肪、碳水化合物和蛋白质三者之间的供能比例会有所变化。本研究饥饿状态下,随温度上升,黑鲢幼鱼的氨熵逐

渐增加,表明其所降解的蛋白质在总供能底物中的比例随温度升高而增加,此规律与其排氨率和耗氧率的变化完全一致。因此,在养殖过程中,随水体温度升高,应适当增加饲料中蛋白质比例,以满足其正常生长的需要。

## 参 考 文 献

- Brett J R, Groves T D D. 1979. *Physiological energetics*// Hoar W S. *Fish Physiology*. Vol. 8. New York: Academic Press, 279 - 352.
- Fry F E J. 1957. *The aquatic respiration of fish*// Brown M E. *The Physiology of Fishes*. Vol. 1. New York: Academic Press, 1 - 63.
- 陈舜,肖云朴. 2008. 南麂列岛海域黑鲷网箱养殖试验初报. *水产科技情报*, 35(1): 1 - 4, 8.
- 崔奕波,陈少莲,王少梅. 1995. 温度对草鱼能量收支的影响. *海洋与湖沼*, 26(2): 169 - 174.
- 崔奕波,解绶启,朱晓鸣,等. 2001. 鱼类生长与生物能量学研究新进展. *浙江海洋学院学报:自然科学版*, 20(增刊): 11 - 15.
- 胡灯进,朱小明,杨圣云. 2005. 饥饿和摄食状态下大黄鱼幼鱼的能量收支. *厦门大学学报:自然科学版*, 44(4): 552 - 554.
- 胡先成,赵云龙,周忠良. 2008. 盐度对饥饿状态下河川沙塘鳢稚鱼生化组成及能量收支的影响. *水产科学*, 27(3): 109 - 113.
- 廖志洪,林小涛,王春,等. 2004. 黄颡鱼仔、稚、幼鱼耗氧率及氨氮排泄率的初步研究. *生态科学*, 23(3): 223 - 226.
- 林小涛,梁旭方,吴杰,等. 1999. 温度对罗氏沼虾亲虾代谢的影响. *生态学杂志*, 18(3): 15 - 18.
- 马志敏. 2004. 花鲈的代谢能及其主要影响因素. 青岛:中国海洋大学硕士学位论文, 15 - 68.
- 邱炜韬. 2004. 温度对倒刺鲃幼鱼能量收支的影响. 广州:暨南大学硕士学位论文, 10 - 75.
- 宋苏祥,刘洪柏,孙大江,等. 1997. 史氏鲟稚鱼的耗氧率和窒息点. *中国水产科学*, 4(增刊): 100 - 103.
- 王波,张进兴,刘洪杰. 1999. 五种理化因子对眼斑拟石首鱼苗种的影响. *齐鲁渔业*, 16(2): 16 - 18.
- 线薇薇,朱鑫华. 2001. 摄食水平对褐牙鲈幼鱼能量收支的影响. *青岛海洋大学学报:自然科学版*, 31(5): 695 - 700.
- 谢小军. 1989. 南方鲇的能量收支的研究. 北京:北京师范大学博士学位论文, 16 - 128.
- 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.
- 杨振才,谢小军,孙儒泳. 1995. 鲇鱼的静止代谢率及其与体重、温度和性别的关系. *水生生物学报*, 19(4): 365 - 373.