

温度对花 耗氧率和排氨率的影响*

徐钢春, 顾若波**, 闻海波

(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业部水生动物遗传育种和养殖生物学重点开放实验室, 无锡 214081)

摘要: 实验研究了不同水温(10℃, 15℃, 20℃, 25℃)对三种不同规格花 的耗氧率和排氨率的影响并阐述了花 耗氧和排氨对水质的影响. 实验结果表明: 体重、温度对其耗氧率和排氨率有极显著的影响, 而体重和温度的综合效应对其耗氧率和排氨率没有显著影响; 在实验室条件下, 花 的耗氧率(R_O)和排氨率(R_N)与体重(W)之间的回归关系分别符合幂函数方程 $R_O = aW^b$ 和 $R_N = cW^d$, 在 10-25℃ 温度范围内, 不同规格花 的耗氧率和排氨率随着温度的升高而增大, 随花 体重的增加而减少; 耗氧率和排氨率与温度(T)、体重(W)的二元线性回归方程分别为: $R_O = 0.008T + 0.022W - 0.003$, $R_N = 16.7T + 0.741W - 0.44$, 复相关系数分别是 $r = 0.967$ 和 $r = 0.937$, F 检验表明, 两个回归方程均极显著; 耗氧率(R_O)与排氨率(R_N)的比值(O:N)为 10.31-28.08, 说明花 主要以蛋白质和脂肪作为能源物质.

关键词: 花 ; 温度; 体重; 耗氧率; 排氨率

Effect of temperature on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Hemibarbus maculatus* Bleeker

XU Gangchun, GU Ruobo & WEN Haibo

(Key Open Laboratory for Genetic Breeding of Aquatic Animals and Aquaculture Biology, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, P. R. China)

Abstract: The aim of this study was to detect the effect of different water temperature (10℃, 15℃, 20℃, 25℃) on oxygen consumption rate (OCR) and ammonia excretion rate (AER) of *Hemibarbus maculatus* Bleeker and expounded the influence on water quality by oxygen consumption and ammonia excretion of *Hemibarbus maculatus* Bleeker. The results demonstrated that the effect of body weight and water temperature on OCR and AER was significant, but no significant effect was shown on their combination; The relationship between OCR (R_O), AER (R_N) and body weight (W) could be expressed as $R_O = aW^b$ and $R_N = cW^d$. The significant increasing of OCR and AER followed by the rise of water temperature within the range from 10℃ to 25℃, decreasing with the increase of body weight; The linear regression relationships of OCR (R_O) with temperature and body weight could be described as $R_O = 0.008T + 0.022W - 0.003$, and AER (R_N) could be illustrated by $R_N = 16.7T + 0.741W - 0.44$, the multiple relation coefficient r were 0.967 and 0.937 respectively; the ratio of R_O and R_N was 10.31-28.08, which indicated that protein and fat were the main energy objects of *Hemibarbus maculatus* Bleeker.

Keywords: *Hemibarbus maculatus* Bleeker; temperature; body weight; OCR; AER

花 (*Hemibarbus maculatus* Bleeker) 隶属于鲤科、鮡亚科、 属^[1], 俗称季郎鱼、鸡骨郎, 广泛分布于我国各地的湖泊、河流中. 花 肉质细嫩, 味道鲜美, 营养丰富, 蛋白质含量高. 近年来, 随着人工繁殖和育苗技术的日趋成熟, 花 已成为江浙沪一带人工养殖的热门品种.

呼吸和排泄是鱼类代谢活动的重要表征, 并反映了鱼类在外界环境中的生活状况. 对鱼类呼吸和排泄

* 江苏省无锡市科技发展指导性计划资助. 2005-06-21 收稿; 2005-09-18 收修改稿. 徐钢春, 男, 1979 年生, 研究实习员, E-mail: xugc@ffrc.cn.

** 通讯作者: 顾若波, E-mail: gurb@ffrc.cn.

的研究是了解其代谢规律、营养需求和养殖特性等的重要途径,因而一直是国内外鱼类生理能量学研究的一个热点^[2]. 而判断水质的标准,水中溶解氧及氨氮的含量又是其中最为关键的两项指标,因此,研究鱼类的耗氧率和排氮率,还可为合理地调控水质提供科学参数. 有关鱼类耗氧率和排氮率的测定,国内外学者已经做了许多研究工作^[3-9],但未见有对花 耗氧率和排氮率的研究报道. 为此,我们对不同规格的花 在不同温度条件下的耗氧率和排氮率进行了研究,以期更好地了解其在湖泊生态系统中的作用,为花 的生理能量学研究提供科学依据,也为进一步的人工养殖技术开发提供理论指导.

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验鱼为淡水渔业研究中心科研试验基地繁育的花 ,选取健康无伤花 在实验室水族箱中进行驯养,并在实验前停食 2d 以上,使鱼处于饥饿状态. 实验用水为曝气 3d 以上的自来水, pH 值为 8.0 ± 0.2 .

1.2 实验方法

实验装置采用流水式的密封装置,仿陈宁生等^[10]的装置加以改制,代谢室采用长、宽、高为 $30 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ 的玻璃容器改装而成.

实验设计 10°C 、 15°C 、 20°C 、 25°C 四个温度梯度,每个温度的波动范围控制在 $\pm 0.5^\circ\text{C}$. 三种不同规格的花 每个处理设 3 个重复,外加一空白对照组. 每个代谢室中放置花 尾数分别为 A 组 3 尾, B 组 5 尾, C 组 7 尾. 实验结束后,用量鱼板测量鱼体的体长和全长(精度为 mm),用 Mettler PC8000 型电子称(精度为 g)称量鱼体的体重(表 1). 用碘量法^[11]测定溶解氧,用奈氏试剂法^[11]测定氨氮含量.

1.3 计算方法

$$\text{花 耗氧率计算公式为: } R_o = \{ (C_0 - C_1) - (C_0 - C_2) \} \cdot V/W \quad (1)$$

式中, R_o 为耗氧率 ($\text{mg/g} \cdot \text{h}$); C_0 为流入代谢室的水溶氧量 (mg/L); C_1 为实验组流出代谢室的水溶氧量 (mg/L); C_2 为空白对照组流出代谢室的水溶氧量 (mg/L); V 为流过代谢室的水流速度 (L/h); W 为实验鱼总体重 (g).

$$\text{花 排氮率计算公式为: } R_N = \{ (N_0 - N_1) - (N_0 - N_2) \} \cdot V/W \quad (2)$$

式中, R_N 为排氮率 ($\mu\text{g/g} \cdot \text{h}$); N_0 为流入代谢室的水的氨氮含量 ($\mu\text{g/L}$); N_1 为实验组流出代谢室的水的氨氮含量 ($\mu\text{g/L}$); N_2 为空白对照组流出代谢室的水的氨氮含量 ($\mu\text{g/L}$); V 、 W 意义同耗氧率.

1.4 数据处理

实验结果均以平均值 \pm 标准差 (Means \pm SE) 来表示,并用 SPSS11.0 统计软件拟合回归方程,用 F 检验回归方程的显著性.

表 1 实验用花 的生物学数据
Tab. 1 Biology data of *Hemibarbus maculatus* Bleeker

实验组	体长 (cm)	全长 (cm)	体重 (g)
A	15.34 ± 1.01	18.44 ± 1.19	48.20 ± 3.59
B	13.00 ± 0.46	15.18 ± 0.28	21.90 ± 2.14
C	8.54 ± 0.27	10.54 ± 0.29	6.25 ± 0.73

1) A、B、C 分别代表大、中、小 3 种规格.

2 结果与分析

2.1 温度对不同体重的花 耗氧率的影响

温度对花 耗氧率的影响(图 1a 所示),当温度在 $10 - 25^\circ\text{C}$ 之间时,花 的耗氧率随温度的升高而明显增加. 在同一温度下,随着花 体重的增大其单位体重的耗氧率逐渐降低,花 的耗氧率 (R_o) 与体重 (W) 的回归关系可用幂函数 $R_o = aW^b$ 来表示,回归方程的系数及相关参数见表 2. 方差分析 (ANOVA) 结果

显示(表3),温度、体重对花 耗氧率有极显著的影响($F > F_{0.01}$),而温度和体重的交互作用对花 耗氧率没有显著影响($F < F_{0.05}$).

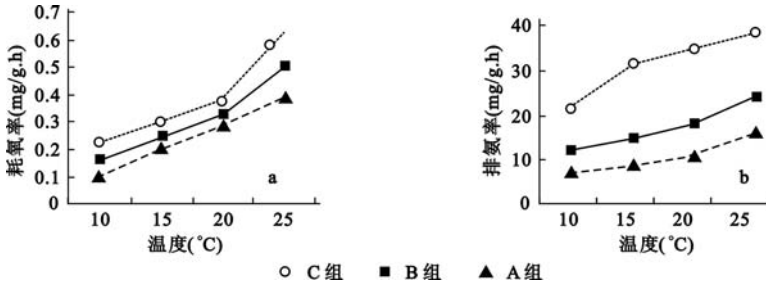


图1 温度对花 耗氧率(a)和排氨率(b)的影响

Fig. 1 Effects of temperature on oxygen consumption rates(a) and ammonia excretion rates(b) of *Hemibarbus maculatus* Bleeker Fish size in groups A, B and C are in Tab. 1

表2 花 的耗氧率(R_o)与体重(W)回归方程的有关参数

Tab. 2 The parameter of the regression equation between oxygen consumption rates (R_o) and body weight (W) of *Hemibarbus maculatus* Bleeker

温度(°C)	a	b	R^2	p
10	0.4359	-0.3490	0.855	0.008
15	0.4293	-0.1828	0.856	0.008
20	0.4857	-0.1342	0.745	0.027
25	0.9628	-0.2251	0.912	0.003

表3 不同温度下花 耗氧率变量分析结果

Tab. 3 The results of ANOVA of oxygen consumption rates of *Hemibarbus maculatus* Bleeker under different temperature

变异来源	自由度	平方和	均方	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
体重	2	0.073	0.036	19.918	3.40	5.61
温度	3	0.381	0.127	69.547	3.01	4.72
体重×温度	6	0.014	0.002	1.263	2.51	3.67
误差	12	0.022	0.002			
总变异	24	0.490				

2.2 温度对不同体重的花 排氨率的影响

温度对花 排氨率的影响(图1b所示),当温度在10-25°C之间时,温度的升高使得花 的排氨率亦随之增加.花 的排氨率(R_N)与体重(W)的回归关系同样可用幂函数 $R_N = cW^d$ 来表示,从花 排氨率(R_N)与体重(W)的回归关系可以看出(表4),其单位体重排氨率随花 体重的增大而逐渐降低.方差分析(ANOVA)结果(表5)显示,温度、体重对花 排氨率有极显著影响($F > F_{0.01}$),而温度和体重的交互作用对花 排氨率没有显著影响($F < F_{0.05}$).

2.3 花 耗氧率和排氨率与温度及体重的关系

花 耗氧率(R_o)和排氨率(R_N)与温度(T)、体重(W)的二元线性回归方程分别是: $R_o = 0.008T + 0.022W - 0.003$, $R_N = 16.7T + 0.741W - 0.44$.对两个方程的显著性进行检验(表6和表7),显示 $F > F_{0.01}$,回归效果均达极显著程度,同时其复相关系数分别是 $r = 0.967$ 和 $r = 0.937$ ($r > r_{0.01} = 0.800$),说明耗氧率和排氨率分别与温度及体重之间有极显著的复相关关系.

表4 花 的排氨率(R_N)与体重(W)回归方程的有关参数Tab. 4 The parameter of the regression equation between ammonia rates (R_N) and body weight(W) of *Hemibarbus maculatus* Bleeker

温度(°C)	cd	d	R^2	p
10	54.7763	-0.5311	0.957	0.001
15	91.2765	-0.6217	0.942	0.001
20	92.5695	-0.5670	0.977	0.000
25	79.3638	-0.4299	0.842	0.010

表5 不同温度下花 排氨率变量分析结果

Tab. 5 The results of ANOVA of ammonia excretion rates of *Hemibarbus maculatus* Bleeker under different temperature

变异来源	自由度	平方和	均方	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
体重	2	1582.577	791.289	71.285	3.40	5.61
温度	3	415.737	138.579	12.484	3.01	4.72
体重*温度	6	55.196	9.199	0.829	2.51	3.67
误差	12	133.205	11.100			
总变异	24	10372.989				

表6 花 耗氧率与温度和体重的二元线性回归方程变量分析结果

Tab. 6 The results of ANOVA to duality regress equation about oxygen consumption rates between temperature and body weight of *Hemibarbus maculatus* Bleeker

方差来源	自由度	平方和	均方	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
回归	2	0.219	0.109	64.979	4.26	8.02
剩余	9	0.015	0.002			
总和	11	0.234				

表7 花 排氨率与温度和体重的二元线性回归方程变量分析结果

Tab. 7 The results of ANOVA to duality regress equation about ammonia excretion rates between temperature and body weight of *Hemibarbus maculatus* Bleeker

方差来源	自由度	平方和	均方	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
回归	2	902.067	451.034	32.592	4.26	8.02
剩余	9	124.55	13.839			
总和	11	1026.617				

不同体重的花 个体在 10-25°C 之间时, $O:N$ (即耗氧率 R_o 与排氨率 R_N 的比值, 可表示生物体内蛋白质与脂肪和碳水化合物分解代谢的比率)^[12] 的比值为 10.31-28.08 (表 8), 前两种规格的花 的 $O:N$ 值在 25°C 时有最大值, 而后者则在 20°C 时最大, 随后温度的增加其值逐步减小。

表8 花 的耗氧率(R_o)和排氨率(R_N)及两者之间的比值(原子比)Tab. 8 Oxygen consumption rates(R_o) and ammonia excretion rates(R_N) and their ratio (atomicity ratio) of *Hemibarbus maculatus* Bleeker

温度(°C)	A			B			C		
	R_o	R_N	$O:N$	R_o	R_N	$O:N$	R_o	R_N	$O:N$
10	0.105	16.79	15.48	0.1679	11.28	14.88	0.2206	20.32	10.86
15	0.2066	8.15	25.35	0.2546	13.76	18.50	0.3028	29.36	10.31
20	0.2825	10.06	28.08	0.3342	16.78	19.92	0.3749	32.31	11.60
25	0.3903	14.70	26.55	0.5063	22.56	22.44	0.6258	35.55	17.60

3 讨论

3.1 温度对花 耗氧率和排氮率的影响

实验结果表明,花 的耗氧率和排氮率随着鱼规格(平均体重表示)的增大而减小,两者的关系为幂函数关系,可用 $R_0 = aW^b$ 和 $R_N = cW^d$ 表示. 在公式 $R_0 = aW^b$ 中, a 值表示单位体重的耗氧率,其大小受很多因素的影响,其中包括许多环境因子,如温度、光照强度、溶解氧等以及生物体内在因素,如个体大小、活动情况、性腺发育等,一般变化较大. 在本实验中,随温度的增加,系数 a 的值逐步增大,当温度为 25℃ 时,系数 a 达到最大值 0.9628,说明在适宜温度范围内,温度的升高使得花 的耗氧率增大. 这与张兆琪等对牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 研究^[6],廖志洪等对黄颡鱼 (*Pelteobogrus fulvidraco*) 的研究^[7],结果相似. 张兆琪等^[6]认为,随着水温的升高,维持生命的脑、心、肝等重要器官的活性增强,各种酶的活动性提高,鱼类的活动强度增大,基础代谢率增高,所以表现出耗氧率和排氮率同时升高的现象.

3.2 体重对花 耗氧率和排氮率的影响

在耗氧率与体重的相关关系式($R_0 = aW^b$)中, b 又称体重指数, b 值大小反映耗氧率对体重变化的敏感程度. 在本实验中, b 值的范围为 0.1342 - 0.3490, 平均为 0.2228, 略高于 Randall D. J. 报道的 0.2 水平^[4], 其原因除各种鱼类之间的差异外,还可能与鱼的饥饿时间、营养特性等因素有关;在排氮率与体重的相关关系式($R_N = cW^d$)中,其 d 值的范围为 0.4299 - 0.6217, 与廖志洪等^[7]所报道的在 0.46 - 0.62 之间的数值相接近.

体重对花 耗氧率和排氮率有显著的影响,体重较小的花 耗氧率和排氮率比体重大的要高,这与对其他鱼类的研究^[5-7,13]得到的结果一致. 姜祖辉等^[13]认为这可能与水生动物在生长过程中的组织、脏器的比重有关,直接维持生命的组织和脏器如肾脏、肝脏等的新陈代谢高于非直接维持生命的其他组织如肌肉、脂肪等. 在动物生长过程中,这两种组织的比率随之减少,即肌肉和脂肪等积累增多,从而引起随体重增大而单位重量的耗氧率和排氮率降低的现象.

3.3 花 代谢与能源物质

呼吸和排泄是鱼类代谢活动的重要表征,水温的变化对鱼类代谢率的影响可以用 Q_{10} 值来表示. 鱼类的代谢率随温度的上升而升高,据报道温度每升高 10℃,其耗氧率大约增加 2.3 倍,即温度系数 $Q_{10} = 2.3$ ^[3]. 本实验花 的 Q_{10} 值(取不同大小花 个体的平均值)在 10 - 15℃ 为 3.18, 15 - 20℃ 为 2.53, 20 - 25℃ 为 3.07, 在 10 - 25℃ 为 2.10, 符合一般结论. 与陈锦云等的研究^[5]结果比较,高于瓦氏黄颡鱼的 Q_{10} 值为 1.54, 说明花 对温度的敏感性相对较强,适应温度变化的能力比较差.

Harris 指出利用氧氮比 ($O:N$) 能估计动物代谢中能源的化学本质^[14]; Mayzand 认为若完全以蛋白质为氧化基质提供能量,其 $O:N$ 值为 7 - 10^[15]; Ikeda 指出以蛋白质和脂肪供能时,其 $O:N$ 值为 24^[16]; Conover 提出随着脂类和碳水化合物被利用比例增高,其 $O:N$ 值逐渐增大,完全以脂肪或碳水化合物供能,其 $O:N$ 值将无穷大^[17]. 实验研究表明,鱼类也基本符合同样的规律^[18]. 在 10℃ - 25℃ 时,体重为 6.25 ± 0.73 g 和 21.9 ± 2.14 g 的个体的 $O:N$ 值随温度升高而逐渐增大,平均分别为 12.59 和 18.94, 体重为 48.2 ± 3.59 g 的个体的 $O:N$ 值在 20℃ 时有最大值,平均为 23.87. 说明花 主要以蛋白质和脂肪作为能源物质. 随着温度或花 个体的增长,能源从以蛋白质为主到蛋白质利用比例逐步下降,对脂肪的利用相应增加,即代谢底物中蛋白质用于氧化供能的比例相对减少,用于生长的比例增加.

3.4 花 代谢对水质的影响

实验结果表明,花 的耗氧率比相似体重的黄颡鱼^[7]在同一水温下的耗氧率高,也高于大西洋牙鲆^[18]的耗氧率. 他们测定了黄颡鱼 (5.07 ± 0.16 g) 及大西洋牙鲆 (35.68g) 在 20℃ 下的耗氧率分别为 0.108 ± 0.007 mg/(g·h) 和 0.155 mg/(g·h). 众所周知,鱼类的耗氧率依种而异,这与各种鱼类的生态习性不同有关^[19]. 花 虽属于底层鱼类,但却是肉食性鱼种^[20],故其耗氧率虽低于中上层肉食性鱼类,却高于大多数的底层温和食性鱼类. 这一点也说明了在养殖管理中不应将花 视为“单纯”的底栖性鱼类来管理,而应同其他肉食性养殖鱼类一样,保持水中较高的溶解氧.

氨氮和尿素是花 等硬骨鱼类的主要氮排泄产物^[21],它们主要通过鳃排泄,少量随尿液排出,在一般

淡水鱼类的排泄物中,氨氮约占总排泄氮的80%^[22].由于氮排泄物是以液态形式排放,因此其直接影响到水体,水中氨氮的过量积累会造成对鱼类中毒性伤害^[23].实验结果表明,花 的排氮率也明显高于相似体重的黄颡鱼^[7]和牙鲆^[6]在相近水温下的排氮率.他们测定了黄颡鱼(5.07±0.16g)在20℃及牙鲆(5.6g)在22℃下的排氮率分别为5.56±0.54μg/(g·h)和10.41μg/(g·h),因此,其对水质的污染也就更大.在生产中,氮对水质的影响,考虑到鱼类摄食后的氮排泄率以及其他形式(如尿素等)排出和残饵分解的有机氮等,故根据实测氮排泄率的3倍的数值进行计算饲养池的总有机氮是比较合理的.而花 对总有机氮的安全浓度还有待研究,这样才能够较合理地控制水质.

4 参考文献

- [1] 苏锦祥,凌国建主编.鱼类学与海水鱼类养殖.北京:中国农业出版社,2000:183-184.
- [2] 周洪琪,潘兆龙,李世钦等.草鱼代谢能的研究.水产学报,1998,22(1):28-32.
- [3] 童裳亮主编.鱼类生理学.北京:北京科学出版社,1988:242-243.
- [4] Randall D J. Fish physiology. New York: Academic Press, 1970:253-292.
- [5] 陈锦云,曹振东,谢小军.温度对瓦氏黄颡鱼幼鱼静止代谢的影响.西南师范大学学报(自然科学版),2003,28(4):618-621.
- [6] 张兆琪,张美昭.牙鲆鱼耗氧率、氮排泄率与体重及温度的关系.青岛海洋大学学报,1997,27(4):483-489.
- [7] 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.生态科学,2004,23(3):223-226.
- [8] Xie Xiaojun, Sun Ruyung. The Bioenergetics of the Southern Catfish (*Silurus Meridionalis* Chen): 1. Resting Metabolic Rate as a Function of Body Weight and Temperature. *Physiological Zoology*, 1990, 63(6): 1181-1195.
- [9] Lyytikainen T, Jobling M. The Effect of Temperature Fluctuations on Oxygen Consumption and Ammonia Excretion of Underyearling Lake Inari Arctic Charr. *Journal of Fish Biology*, 1998, 52: 1186-1198.
- [10] 陈宁生,施泉芳.草鱼、白鲢和花鲢的耗氧率.动物学报,1955,7(1):43-57.
- [11] 陈佳荣,臧维玲,金送笛等.水化学实验指导书.北京:中国农业出版社,2000:120-138.
- [12] 王资生,彭 斌.温度和规格对扁玉螺耗氧率和排氮率的影响.盐城工学院学报(自然科学版),2003,16(4):50-54.
- [13] 姜祖辉,王 俊.温度和规格对毛蚶耗氧率和排氮率的影响.青岛大学学报,1999,12(1):75-79.
- [14] Harris E. The nitrogen cycle in Long Island Sound. *Bull Bingham Oceanogr Collect*, 1959, 17: 31-65.
- [15] Mayzand P. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton. IV: The influence of starvation on the metabolism and biochemical composition of some species. *Mar Biol*, 1976, 37: 47-58.
- [16] Ikeda T. Nutritional ecology of marine zooplankton. *Mem Fac Fish Hokkaido Univ*, 1974, 22: 1-97.
- [17] Conover R I, corner E D S. Respiration and nitrogen excretion by some marine zooplankton in relation to their life cycles. *J Mar Biol Assoc U K*, 1968, 48: 49-75.
- [18] 王 波,李继强,曹志海等.大西洋牙鲆幼鱼标准代谢的初步研究.海洋科学进展,2004,22(1):62-68.
- [19] 川本信之.鱼类生理生态学.水产学全集13.东京:恒星社厚生阁版,1960:9-24.
- [20] 郭水荣.花 网箱养殖试验.淡水渔业,2005,35(2):53-54.
- [21] Bravfield A E. Laboratory studies of energy budgets. In: *Fish Energetic: New Perspectives*. London: Croom Helm, 1985: 257-282.
- [22] Jobling M. Fish bioenergetics. Great Britain: Edmundsbury Press, 1994.
- [23] Meade J W. Allowable ammonis for fish culture. *Progressue Fish Culturist*, 1985, 47: 135-145.