第19卷 第4期 水生生物学报 Vol. 19, No. 4
1995 年 12 月 ACTA HYDROBIOLOGICA SINICA Dec., 1995

鲇鱼的静止代谢率及其与体重、温度和性别的关系*

杨振才 谢小军[1] 孙儒泳[2]
(河北师范大学生物系, 石家庄 050016)
1) (西南师范大学生物系, 重庆 630715)
2) (北京师范大学生物系, 100875)

提 要

采用连续流水式呼吸仪测定了127尾鲇鱼(体重22.6—452.4 g)的静止代谢率。在10, 15, 20, 25和30℃水温下,鲇鱼平均特定体重代谢率分别为22.99, 58.55, 79.20, 109.29和123.89 $mgO_2/kg/h$。体重(W)与静止代谢率(Ms)回归关系($Ms = aW^b$)的体重指数b随温度上升而下降,温度(T)与特定体重代谢率(M')回归关系($M' = AT^B$)的温度指数B随体重增加而降低。鲇鱼的静止代谢率(Ms: $mgO_2/fish/h$)与温度(T: ℃)和体重(W: kg)的关系式为: $Ms = 2.031T^{1.017} \cdot W^{(1.276-0.170\ln T)}$。在25℃水温下雄性鲇鱼的静止代谢率显著高于雄性。

关键词 鲇鱼,静止代谢,温度,体重,性别

鲇鱼(*Silurus asotus* Linnaeus)是一种广泛分布于亚洲东部地区的经济鱼类,有关它的形态、分类、发育和生态习性的研究已有许多工作[1-3],鲇鱼呼吸代谢方面的研究至今尚未见报道。

鱼类的标准代谢(Standard metabolism)是指鱼在禁食、安静状态下所保持的最低的代谢水平。由于实际测定中这些标准的控制程度是不同的,所以,标准代谢的测定方法至今尚未统一和标准化。Xie & Sun 根据南方大口鲇(*Silurus meridionalis*)具有在狭小水域中能长期保持安静的习性,采用连续流水式呼吸仪测定了其幼体的代谢率,认为该代谢率接近于标准代谢率而称之为静止代谢率(Resting metabolic rate),他们证实了体重和温度对静止代谢率的交互作用的存在,并提出了一个描述其作用强度的交互作用指数[4]。生活于同一江段的鲇鱼与南方大口鲇在形态和生态习性上相似,但是,鲇鱼性成熟较早,一冬龄即达性成熟,并且具有兼食习性[5],为了比较相近体重范围的鲇鱼和南方大口鲇幼体在静止代谢方面的异同,我们采用了同一套呼吸仪和相同的实验方法[4]测定了鲇鱼的静止代谢率。

* 中国科学院水生生物研究所崔奕波研究员对文稿提出许多宝贵意见,谨此致谢。
1992 年 12 月 8 日收到; 1995 年 4 月 28 日修回。

1 材料和方法

1.1 实验鱼来源和驯养 1990 年 8 月至 1991 年 4 月由嘉陵江的北碚—磁器口江段收集网捞的鲇鱼，按体重分养于西南师范大学室外实验鱼池中，以鲤碎块为饵。水温接近20℃时，以约 0.25 ppm 的比例在鱼池遍洒 90% 的敌百虫 (Dipterex) 晶体，隔 5d 用药一次，共用三次，以防治危害较重的指环虫病等。

1.2 实验方法 实验温度分 10、15、20、25 和 30℃ 等 5 个水平，它与嘉陵江的自然水温变辐相似，实验从 12 月至翌年 6 月，随水温上升依次进行这 5 个水平的测定。测定前实验鱼禁食，禁食期因温度而异，10、15℃ 水温条件下禁食 8d，20℃ 禁食 6d，25、30℃ 禁食 4d，以保证鱼排尽粪便。实验鱼在测定前要经过一系列的温度驯化，首先选择体重符合设计要求的鲇鱼，在室外网箱中单尾驯化 20d，然后转入室内水族箱的鱼类能量代谢笼[6]内驯化 7—10d，水温控制在实验温度±0.2℃，实验前 24h 将鱼装入流水式呼吸仪[4]的呼吸室内，水温控制在±0.1℃。

实验测定进行 8h，连续测定 4 次，时间为：9:00—10:00，11:00—12:00，13:00—14:00，，15:00—16:00；在每次测定时间内，取水样 3 次，每 0.5h 一次。用 Winkler 氏碘量法测定空白水样和呼吸后水样的溶氧量，每尾鱼 4 个测定值的平均数作为该鱼的实验结果。实验期内的光照周期为 L:D = 14:10(h)，光照期内的光照强度平均为 2.3×10^{-2} $J/Sec/m^2$。测定结束后，立即对鱼称重(±0.1g)，并鉴定其性别，取得体重数据和性别资料。本实验共获得 127 尾鲇鱼(体重 22.3—452.4g)的实验数据。

2 结果

2.1 静止代谢率与体重的关系

许多研究表明：鱼类的静止代谢率与体重的关系式为：

$$Ms = aW^b$$

以此式对鲇鱼的静止代谢率 (Ms: $mgO_2/fish/h$) 和体重 (W:kg) 进行回归运算，各水温条件下，相关关系都达极显著水平(表 1)。协方差分析表明，各温度条件下回归方程的体重指数 (b) 之间差异极显著 ($F = 3.594; df = 4,117; p < 0.01$)。b 与温度(T)的关系为：

表 1 不同水温下鲇鱼的静止代谢率 (Ms) 与体重 (W) 的关系

Tab. 1 The relationship between resting metabolic rate (Ms: $mgO_2/fish/h$) and body weight (W: kg) at different temperatures ($\ln(Ms) = a + b\ln(W)$)

温度 (℃) Temp.	体重 (kg) Body weight	鱼尾数 Number of fish	回归方程的参数 Parameters of regression equation			
			a	b	SE(b)	r
10	0.0309—0.2951	22	3.016	0.870	0.029	0.989
15	0.0226—0.3003	29	3.393	0.806	0.037	0.973
20	0.0293—0.4524	30	3.833	0.778	0.038	0.969
25	0.0268—0.4112	22	4.157	0.783	0.042	0.973
30	0.0268—0.2151	24	3.927	0.619	0.053	0.929

$$b = 0.9811 - 0.01050T \quad (N = 5, R = 0.8961, p < 0.05)$$

2.2 静止代谢率与温度的关系

按体重将 127 尾鲇鱼分为 4 组，计算了它们的特定体重代谢率。10, 15, 20, 25 和 30℃ 水温下的特定体重代谢率分别为 27.99, 58.55, 79.20, 109.29 和 123.89$mgO_2/kg/h$。各体重组特定体重代谢率（M′: $mgO_2/kg/h$）与温度（T:℃）的关系如表 2 所示。

表 2 各体重组鲇鱼特定体重代谢率（M′）与温度（T）的关系

Tab. 2 The relationship between weight-specific metabolic rate (M′: $mgO_2/kg/h$) and temperature (T: ℃) for different body weight groups ($\ln(M') = A + B\ln(T)$)

体重组(g) Body weight group	鱼尾数 Number of fish	回归方程的参数 Parameters of regression equation			
		A	B	SE(B)	r
0—50(34.6)	29	0.103	1.479	0.095	0.949
50—100(72.5)	32	−0.285	1.562	0.089	0.955
100—200(144.7)	47	0.242	1.317	0.060	0.957
More than 200 (274.9)	19	0.432	1.218	0.089	0.958

协方差分析表明，各体重组回归方程的温度指数（B）间差异极显著（$F = 3.995$; $df = 3,119$; $p < 0.01$）。体重越高，B 值越小，即温度对体重较大的鲇鱼的静止代谢率影响较小。

2.3 体重和温度对静止代谢率的交互作用

从上述结果可以看出，体重和温度对静止代谢率有交互作用，采用 Xie & Sun[4] 提出的体重和温度对静止代谢率作用模型：

$$\ln Ms = \ln C' + B\ln T + b\ln W + r\ln T \cdot \ln W$$

对鲇鱼的静止代谢率进行多元回归运算，得：

$$\ln Ms = 0.7086 + 1.017\ln T + 1.276\ln W - 0.170\ln T \cdot \ln W$$

($N = 127, R = 0.9824, t(\ln T) = 8.799, t(\ln W) = 8.049, t(\ln T \cdot \ln W) = 3.143$)

复相关关系及各偏回归系数都达极显著水平（$p < 0.01$）。所得方程可以转化为以下两种形式：

$$Ms = 2.031T^{(1.017-0.170\ln W)} \cdot W^{1.276}$$

或：

$$Ms = 2.031T^{1.017} \cdot W^{(1.276-0.170\ln T)}$$

若以特定体重代谢率（M′: $mgO_2/kg/h$）来表达这一关系，则：

$$M' = 2.031T^{(1.017-0.170\ln W)} \cdot W^{0.276}$$

2.4 静止代谢率与性别的关系

对 127 尾实验鱼中 102 尾较大个体进行了性别鉴定。采用平均体重的近似值作为比较的标准体重（$Ws = 150.0g$），根据公式：

$$Ms' = (Ws/W)^b \cdot Ms$$

（式中 Ms′ 为标准体重静止代谢率，W和 Ms 分别为实测体重和静止代谢率，b 为各温度下静止代谢率的体重指数）计算了雌、雄鲇鱼标准体重下的静止代谢率（表 3）。

结果表明：在 25℃ 水温条件下，鲇鱼的静止代谢率雌性显著高于雄性，其他 4 个温

表 3　雌雄鲇鱼标准体重（Ws = 150.0g）下静止代谢率（Ms′: $mgO_2/h/Ws$）的比较

Tab. 3　Comparison of metabolic rate (Ms′: $mgO_2/h/Ws$) adjusted to a standard weight (Ws = 150.0g) between male and female catfish

温　度 Temp. (℃)	雄性 Ms′(Male Ms′)		雌性 Ms′(Female Ms′)		t-检验 (t-Test)	
	平均值±SD Mean±SD	N	平均值±SD Mean±SD	N	t-值 t-Value	p
10	3.991±0.336	9	3.903±0.391	13	0.5668	>0.10
15	6.582±0.887	8	6.243±0.580	6	0.8636	>0.10
20	10.989±2.014	11	10.691±1.795	11	0.3669	>0.10
25	13.595±2.224	10	15.506±1.897	12	2.1437	<0.05
30	15.724±2.124	8	16.089±2.544	14	0.3595	>0.10

度条件下，性别对静止代谢率无显著影响。

在 25℃ 水温条件下，雌、雄鲇鱼的静止代谢率（Ms: $mgO_2/fish/h$）与体重（W: kg）的关系式为：

雌性：$Ms = 67.98W^{0.7825}$

雄性：$Ms = 56.18W^{0.7604}$

3　讨论

3.1　鲇鱼的静止代谢水平及其与南方大口鲇的比较

在 10—30℃ 范围内鲇鱼的特定体重代谢率的总平均值为 79.78(24.56—156.91) $mgO_2/kg/h$，其代谢水平低于 Brett & Groves[7] 统计的 34 种鱼类的平均值 [89(26—229)$mgO_2/kg/h$]，这与鲇鱼具有潜伏式捕食习性相统一。

根据鲇鱼和南方大口鲇静止代谢率模型[4]，计算了各温度条件下、两者各体重组平均体重的静止代谢率比值，鲇鱼的静止代谢率约为南方大口鲇的 1.23 倍。Duthie & Houlihan[8] 指出，较活跃的鱼类具有较高的静止代谢率。我们观察到鲇鱼比南方大口鲇具有较强的觅食活动习性。鲇鱼的肥满度要比南方大口鲇幼体的小，采用谢小军[9]提供的 18 尾南方大口鲇(体长 23.0—44.5cm) 的平均体重和体长 (392g 和 35cm) 的数据以及对 77 尾 23cm 以上鲇鱼的测量数据，分别计算了它们的“肥满度”（$K = W/L^3 \times 100$），结果表明，南方大口鲇的 K 值是鲇鱼的 1.27 倍。根据 Jobling[10] 的观点，鱼类的代谢可以分为两部分，一部分用于生长，另一部分用于维持身体内稳态。鲇鱼的 K 值较小，其相对体表面积较大，用于维持身体内稳态的代谢耗能可能高于南方大口鲇，对于生态习性相近的两种鱼，K 值的大小有可能是导致静止代谢水平差异的原因之一。

3.2　体重、温度和性别对静止代谢率的影响

鲇鱼静止代谢率的体重指数低于南方大口鲇幼体的体重指数，并且都小于 1 (表 4)，说明鲇鱼特定体重代谢率受体重影响较大。

Jobling[10] 认为，鱼类的静止代谢 (Ms) 中用于生长的部分与体重呈正比 (体重指数为 1.0)，用于维持身体内稳态的部分与体表面积相关(体重指数为 0.67)，从而提出公式：

$$Ms = a_1W^{1.0} + a_2W^{0.67}$$ （W：体重，a_1, a_2 为常数）

随着这两部分所占静止代谢的比例不同，静止代谢的体重指数在 0.67—1.0 之间变

化。如前所述，鲇鱼相对体表面积大于南方大口鲇，用于维持身体内稳态的部分可能较大，即鲇鱼的 a_2 值可能大于南方大口鲇的 a_2 值，这正与鲇鱼的体重指数低于南方大口鲇的结果相一致。所以，体重指数的比较支持了 Jobling 的上述假说。

表 4 鲇鱼和南方大口鲇静止代谢率的体重指数 (b)

Tab. 4 The b values in the relationship between resting metabolic rate and body weight in different temperatures for common catfish and southern catfish

种 类 Species	温度 Temperature (℃)					来 源 Sources
	10	15	20	25	30	
Silurus asotus	0.870	0.806	0.778	0.783	0.619	Present study
Silurus meridionalis	0.935	0.936	0.836	0.767	0.748	Xie & Sun (1990)

鲇鱼与南方大口鲇特定体重代谢率的温度指数没有显著差异，说明这两种生态习性相近的鱼类对温度的适应能力近似。温度和体重对鲇鱼和南方大口鲇的静止代谢率都存在显著的负交互作用，交互作用指数相近，鲇鱼略低于南方大口鲇，即鲇鱼的交互作用强度略低于南方大口鲇。

生活于嘉陵江的鲇鱼每年 3 月下旬开始产卵活动，上游和支流在 6—7 月初、中下游在 4—5 月为盛产期[3]。根据嘉陵江的水温资料，盛产期的水温高于 20℃，低于 30℃。雌、雄鲇鱼仅在 25℃ 水温下的静止代谢率存在显著差异，这可能与测定季节有关，25℃ 和 30℃ 两组实验的测定时间处于鲇鱼的自然繁殖季节，在 25℃ 水温下的结果说明繁殖季节可能是引起雌、雄鲇鱼的静止代谢率差异的原因之一；而 30℃ 水温已超过了鲇鱼适宜的繁殖温度，这可能是 30℃ 组鲇鱼静止代谢率没有性别差异的一个原因。

参 考 文 献

[1] 刘成汉。鲇鱼 (*Parasilurus*) 种的新资料。四川大学学报，1965,(1): 99—114。

[2] 陈湘粦。我国鲇科鱼类的总述。水生生物学集刊，1977,6(2): 197—218。

[3] 施白南。嘉陵江鲇鱼的生物学简介。西南师范学院学报，1980,(2): 53—59。

[4] Xie X, Sun R. The bioenergetics of the southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen). I. Resting metabolic rate as a function of body weight and temperature. *Physiol. Zool.*, 1990., 63: 1181—1195.

[5] 施白南。嘉陵江南方大口鲇的生物学研究。西南师范学院学报，1980,(2): 45—52。

[6] Xie X, Sun R. The bioenergetics of the southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen). Growth rate as a function of body weight and temperature. *J. Fish Biol.*, 1992, **40**: 719—730.

[7] Brett J R, Groves T D D. Physiological energetics. In: Fish physiology (Hoar, Randall & Brett eds), Vol. 8. New York: Academic Press 1979: 279—352.

[8] Duthie G G, Houlihan D F. The effect of single step and fluctuacting temperature changes on oxygen consumption of flounders, *Platichthys flesus* (L.): lack of temperature adaptation. *J. Fish Biol.*, 1982, **21**: 215—226.

[9] 谢小军。嘉陵江南方大口鲇的年龄和生长的初步研究。生态学报，1987,7: 359—367。

[10] Jobling M. Growth. In: Fish energetics: new perspectives (Tytler & Calow eds), Press, Baltimore, Maryland: Johns Hopkins Univ. 1985: 213—230.

THE RESTING METABOLIC RATE OF THE COMMON CATFISH (*SILURUS ASOTUS*) AS A FUNCTION OF BODY WEIGHT, TEMPERATURE AND SEX

Yang Zhencai, Xie Xiaojun[1] and Sun Ruyong[2]

(*Dept. of Biology, Hebei Teachers Univ., Shijiazhuang* 050016)

1 (*Dept. of Biology, Southwest Teachers Univ., Chongqing* 630715)

2 (*Dept. of Biology, Beijing Normal Univ., Beijing* 100875)

Abstract

The resting metabolic rates of 127 common catfish (*Silurus asotus* L.) weighing 22.6—452.4g were measured by use of a continuous-flow respirometer. Mean weight-specific metabolic rates at 10,15,20,25 and 30°C were 22.99,58.55,79.20,109.29 and 123.89mgO_2/kg/h, respectively. Values of the mass exponent (b) in the relationship between metabolic rate (Ms) and body mass (W) ($Ms = aW^b$) decreased with increasing temperature. Values of the temperature exponent (B) in the relationship between weight-specific metabolic rate (M) and temperature (T) ($M = AT^b$) decreased with increasing body weight. The multiple regression equation describing the effects of body weight (W: kg) and temperature (T: ℃) on resting metabolic rate (Ms: mgO_2/fish/h) is: $Ms = 2.031T^{1.017} \cdot W^{(1.276-0.1701nT)}$. The resting metabolic rate of female fish were higher significantly than that of male fish at 25℃.

Key words *Silurus asotus*, Resting metabolism, Temperature, Body weight, Sex