

# 南方鲇成鱼的静止代谢率的季节变化\*

曹振东

谢小军

(重庆师范学院生物学系, 重庆 630047)

(西南师范大学生物学系, 重庆 630715)

**提要** 于1991年9月—1992年7月, 运用连续流水式呼吸仪测定由嘉陵江捕获的南方鲇成鱼(2.085—6.810kg)的静止代谢率, 在10.0, 13.3, 16.0, 21.8, 22.2和27.4℃条件下, 雌鱼的测定值是8.699, 21.980, 25.412, 30.563, 34.463和32.483 O<sub>2</sub>mg/(kg·h); 雄鱼的是8.146, 19.568, 26.830, 29.426, 32.156和32.098 O<sub>2</sub>mg/(kg·h)。采用统计模型, 将测定值调整为标准状态(20℃; ♀: 4.126kg, ♂: 2.890kg)下的静止代谢率。结果表明, 雌、雄鱼静止代谢率的周年曲线均为双峰型, 在繁殖季节(3—5月)和性产物迅速积累期(9—11月)较高, 7月次之, 1月份最低; 该种鱼静止代谢率的年周期变化与其繁殖活动及性腺发育的周期相关。雌鱼静止代谢的年能量需求为 $29.5 \times 10^5$  J/(kg·a), 雄鱼的为 $28.8 \times 10^5$  J/(kg·a), 表明这种大型专性肉食性鱼类的静止代谢水平低于文献报道的其他几种鱼。

**关键词** 鱼类能量学 静止代谢 季节变化 繁殖 南方鲇

鱼类的繁殖活动适应季节变化而呈现明显的周期性, 在年周期的不同阶段, 体内各生理活动的强度不同。因此, 代谢水平的季节性变异不仅是环境因子(如温度)变化的直接结果, 也是繁殖生理节律的必然反映。对此, 国外学者已有报道(Beamish, 1964; Pandey, 1976; Evans, 1984)。南方鲇(*Silurus meridionalis* Chen)生态习性特殊, 在代谢类型上与其他鱼类有所不同(施白南, 1980; Xie et al., 1990)。有关其繁殖生物学和幼鱼静止代谢率的研究已作报道(谢小军等, 1996; 张耀光等, 1996; Xie et al., 1990)。本文报告南方鲇成鱼的静止代谢率, 讨论该种鱼代谢的季节变化特征及其与繁殖周期的关系, 旨在为相关领域的系统研究及探讨南方鲇的繁殖对策提供基础资料。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

于1991年5月—1992年5月, 收集嘉陵江合川至北碚江段网捕南方鲇 *Silurus meridionalis* 成鱼(♀: 2.730—6.810kg, ♂: 2.085—4.080kg)。鉴别标本是否为成鱼(性成熟)时, 参考谢小军等(1996)、张耀光等(1996)的研究。经称重后驯养于实验鱼池(50×30×2.5m<sup>3</sup>)中。池中混养尾重为0.05—0.20kg的鲤作为南方鲇的捕食猎物。驯养1月后开始进行代谢测定。在繁殖季节(4月中旬)随机抽取在池中养殖1a以上的雌、雄鱼各两尾进行解剖观察, 证明南方鲇在驯养过程中性腺能正常发育和成熟。

### 1.2 实验装置

以自制大型鱼类流水式呼吸仪测定静止代谢率, 其构造原理如图1。蓄水池(A)中

\* 国家自然科学基金资助项目, 39070143号。曹振东, 男, 出生于1949年12月, 讲师。

收稿日期: 1993年12月29日, 接受日期: 1996年4月26日。

的水经水泵(B)抽至上位水槽(C), 上位水槽的水经入水管(D)进入呼吸室(E), 多余的水由溢水管(F)流回蓄水池, 以保持

恒定水位。呼吸室用 PVC 塑料管( $\phi 40 \times 130\text{cm}$ )制成, 在出水管(H)一端的法兰盘盖板上有机玻璃透光板(G), 散射光可由此进入呼吸室, 以保持呼吸室内的自然光期。呼吸室流出的水经出水管(H)和限流阀(I)进入取样瓶(J), 由取样瓶溢出的水流入集水桶(K)。呼吸室置于水浴池(L)中, 蓄水池和水浴池的水温均由控温仪控制在同一恒定温度( $\pm 0.5^\circ\text{C}$ )。蓄水池配有充气泵, 以维持水中溶解氧始终处于饱和状态。

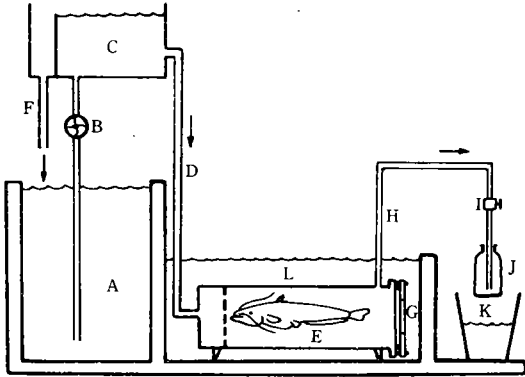


图1 连续流水式大型鱼类呼吸仪的构造

Fig.1 Structure of continuous-flow respirometer for large-body fish

### 1.3 实验设计与操作方法

在1991年9月—1992年7月期间每两个月进行一次代谢测定, 实验水温接近相应月份自然水体的平均温度(表1)。将由驯养池捕出的实验鱼放在暂养池中停食48h后, 置入呼吸室内驯化12h。每次测定均以1个呼吸室作为空白对照。驯化过程中调节各呼吸室出水管水流, 使装有实验鱼的呼吸室与空白呼吸室流出水的溶解氧差值在1—2 mg/L之间。每尾实验鱼测定4次, 取样时间分别为: 09:00, 11:00, 13:00, 15:00。定时收集取样瓶的溢出水, 以计时称重法得到各呼吸室出水管的流速。用Winkler氏碘量法测定溶氧量( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液的浓度为0.005 mol/L)。以空白对照水样与实验鱼呼吸室水样的溶氧量之差, 乘以该室的流速, 便得到该实验鱼的耗氧量( $\text{O}_2\text{mg/h}$ )。将4个测定值的平均数作为实验结果。测定后立即对实验鱼称体重。由于禁食后置于呼吸室内的南方鲇保持自然静息状态, 在此条件下的测定结果称为静止代谢率(Resting metabolic rate)。共对36尾南方鲇成鱼进行测定, 其中雌鱼19尾, 雄鱼17尾。

表1 实验水温与嘉陵江的月平均水温及变幅

Tab.1 The test temperatures in the experiment and the month-mean values of the temperatures in the Jialingjiang River

实验日期(年.月)	1992.01	1992.03	1992.05	1992.07	1992.09	1992.11
实验测定水温( $^\circ\text{C}$ )	10.0	13.3	22.2	27.4	21.8	16.0
嘉陵江水温( $^\circ\text{C}$ ) 月平均值	8.42	13.47	22.57	25.97	22.81	15.86
(变幅)	(6.0—11.4)	(9.0—19.0)	(18.6—26.8)	(22.0—31.2)	(18.6—31.0)	(11.2—19.4)

## 2 结果

### 2.1 南方鲇的标准体重成鱼的静止代谢率

每组实验鱼的体重和代谢率的平均值见表2。为排除体重差异造成的干扰, 采用下

述公式 (Duthie et al., 1982; Soofiani et al., 1985) 将实测体重 ( $W$ ) 的结果 ( $M$ ) 校正为“标准体重 ( $W_s$ )”下的结果 ( $M_s$ ):

$$M_s = M \cdot (W_s / W)^b \quad (1)$$

式中,  $b$  值为体重指数。假定在同一温度条件下南方鲇成鱼与幼鱼的  $b$  值相同, 则式 (1) 中  $b = 0.444 - 0.207 \ln T$  (Xie et al., 1990);  $T$  为实验水温。标准体重取实验鱼体重的平均值 (♀: 4.126kg; ♂: 2.890kg)。各月份标准体重雌、雄鱼的静止代谢率平均值见表 2。

表 2 南方鲇成鱼各月份的静止代谢率

Tab.2 The resting metabolic rate in the adult *Silurus meridionalis* in different months

	日期	温度	尾数	体重 (kg)	代谢率实测值	标准体重鱼的代谢率 <sup>1)</sup>
	(年.月)	(℃)	(n)	平均值(变幅)	[O <sub>2</sub> mg/(kg·h)] 平均值 ± 标准差(S.D.)	[O <sub>2</sub> mg/(kg·h)] 平均值 ± 标准差(S.D.)
雌 性	1992.01	10.0	3	4.641(4.123—5.250)	8.699±1.876	8.732±1.885
	1992.03	13.3	3	体重(kg)	21.980±3.295	21.941±2.721
	1992.05	22.2	4	4.013(2.980—6.385)	34.463±8.140	34.086±8.750
	1992.07	27.4	4	3.703(2.730—6.120)	32.483±2.304	31.312±3.801
	1991.09	21.8	2	3.705(4.320, 3.090)	30.563	30.254
	1991.11	16.0	3	4.305(3.175—4.155)	25.412±4.157	22.923±2.261
	平均值				4.126	
雄 性	1992.01	10.0	4	3.070(2.740—3.695)	8.146±1.520	7.985±1.490
	1992.03	13.3	3	2.985(2.085—4.080)	19.568±4.080	19.481±3.445
	1992.05	22.2	1	2.882	32.156	32.138
	1992.07	27.4	4	2.711(2.490—2.910)	32.098±4.544	31.579±4.316
	1991.09	21.8	2	2.975(3.290, 2.660)	29.426	29.173
	1991.11	16.0	3	2.800(2.605—2.920)	26.830±3.594	25.065±3.421
	平均值				2.890	

1) 标准体重取实验鱼的平均体重, 即♀: 4.126kg; ♂: 2.890kg。

## 2.2 南方鲇成鱼静止代谢的年能量需求

实验水温与相应月份自然水体温度平均值十分接近, 并在自然水体月温度变幅以内 (表 1), 因此, 实验结果反映自然条件下南方鲇成鱼的代谢水平及周年变化。以各月份标准体重鱼的静止代谢率的平均值 (表 2) 为依据, 采用氧热当量 13.56J/mg (Elliott et al., 1975), 估计南方鲇雌、雄成鱼静止代谢的年能量需求分别为:  $29.5 \times 10^5 \text{J}/(\text{kg} \cdot \text{a})$  和  $28.8 \times 10^5 \text{J}/(\text{kg} \cdot \text{a})$ 。

## 2.3 在标准温度条件下静止代谢率的季节变化

Xie 等 (1990) 关于南方鲇幼鱼静止代谢模型的温度指数公式包含了体重变量, 因此采用该模型中的参数, 将不同温度下的标准体重的静止代谢率调整为在标准温度 (20℃) 条件下的数值。以便探讨代谢率季节变化的非温度因素。修正方程为:

$$M_{ST} = M_s (T_s / T)^{1.020 - 0.207 \ln W} \quad (2)$$

式中,  $M_s$  为标准体重的静止代谢率;  $T_s$  为调整采用的标准温度(20℃);  $T$  为实验水温(℃);  $M_{ST}$  为标准温度条件下标准体重的静止代谢率(简称: 标准状态代谢率)。标准状态代谢率的统计结果见图2, 可以看出, 春季(3—5月)的代谢水平为最高; 秋季(9—11月)的次之; 夏季(7月)的再次之, 冬季(1月)的最低。

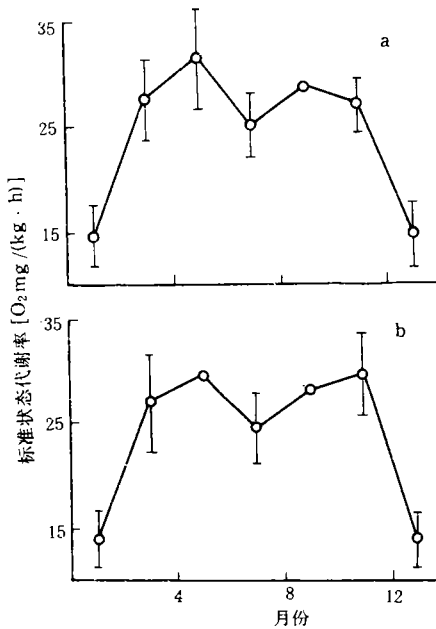


图2 南方鲇雌鱼(a)和雄鱼(b)的标准状态代谢率的年周期

Fig.2 The annual cycles of the standard condition metabolic rates in the female (a) and the male (b) *Silurus meridionalis*

调整为标准状态下的静止代谢率(图2), 在排除体重和温度变异的前提下来探讨代谢率变化的机制, 结果发现, 南方鲇雌、雄鱼的静止代谢率均在春季(3—5月)为最高, 这刚好与其产卵期相对应。在此期间, 成熟雌鱼的卵巢以IV期状态为主, 并向V期发展。由于产卵期性腺发育旺盛并伴有活跃的繁殖活动, 相应地其静止代谢水平也升高。秋季的静止代谢率仅次于春季, 原因是该种鱼的卵巢在秋季由II期向III期转化, 并在秋末达到IV期(谢小军等, 1996)。在此期间性腺中有大量的卵黄积累, 其组织生长过程的代谢耗能量也因此增大。夏季的环境饵料丰富, 南方鲇捕食活跃, 躯体生长最为迅速, 由此会促使静止代谢水平的提高。但是, 研究结果表明南方鲇夏季的静止代谢率除了高于既无躯体生长又无性腺生长的冬季外, 却低于水温较低但繁殖及性腺生长活跃的春季和秋季。该现象说明, 南方鲇由繁殖活动而引起的静止代谢耗能量增长的幅度是较大的。冬季是代谢率最低的时期。南方鲇是春季产卵的鱼类, 其性腺在前一年秋季就基本完成了营养物的积累达到第IV时相, 而在冬季性腺活动则相对静止(张耀光等, 1996)。同时由于环境的影响, 捕食活动与生长也停止(施白南, 1980), 所以它的静止代谢率处

### 3 讨论与结语

#### 3.1 南方鲇静止代谢率的季节变化与繁殖周期的关系

将实验温度与标准体重代谢率的周年变化(表2)进行对照, 发现二者的变化周期不同步。春季(3—5月)的代谢率随温度上升而提高得最快, 而夏季(7月)温度虽然继续上升, 代谢率却呈下降趋势。实验水温峰值在7月份(27.4℃), 而代谢率的峰值却在5月份[♀: 34.086 O<sub>2</sub>mg / (kg · h); ♂: 32.138 O<sub>2</sub>mg / (kg · h)]。二者不对应, 表明温度并非是引起南方鲇代谢率季节变化的唯一因素。

Jobling (1985) 提出, 静止代谢可划分为维持内稳态和组织周转(修复与更新)两部分的能量消耗。生长(包括躯体生长和性腺生长)旺盛的个体, 组织周转的速率相应加快, 静止代谢水平也会提高。因此代谢的季节变异往往与繁殖周期有着密切的联系。将本实验测定结果调

于最低水平。

### 3.2 南方鲇成鱼静止代谢率的年周期变化与产卵类型的关系

从图2还可以看到南方鲇的年代代谢曲线为双峰型。Beamish (1964) 曾报道了排除温度影响下的 *Salvelinus fontinalis* 和 *Salmo trutta* 的年代代谢周期为单峰型, 这两种鱼均为秋季产卵类型, 卵黄积累在夏季完成。而早春产卵的南方鲇的年代代谢曲线为双峰型。该现象是否为所有早春产卵型鱼类所共有的特征, 有待更多该类型鱼类的资料加以证实。

### 3.3 南方鲇成鱼的静止代谢率与生态习性的关系

成鱼静止代谢率季节变化的共同特征是, 其峰值总是出现在繁殖季节 (Beamish, 1964; Pandey, 1976; Evans, 1984)。但比较曲线的峰值和低谷值, 发现二者间的变化率在各种鱼的差异较大。*Salmo trutta* 的年代代谢率曲线由低谷到峰值的增长率为50%左右 (Beamish, 1964), *Lepomis gibbosus* 的增长率约为89% (Evans, 1984), *Gasterosteus aculeatus* 的该值只有40%, (Meakin, 1975), 而南方鲇的变化要显著得多, 增长率达112%。这说明繁殖生理过程对南方鲇的代谢影响相对较大。

表3 南方鲇成鱼静止代谢年能量需求与其它三种鱼的比较

Tab.3 The annual energy requirement for resting metabolism in the adult *Silurus meridionalis*, compared with other three species

种 名	测定时间 (年. 月)	温度 (℃)	体重 (g)	静止代谢年能量需求 [ $\times 10^3$ J / (kg · a)]		资料来源
				♀	♂	
<i>Salvelinus fontinalis</i>	1960.03—1961.01	10	686	75.6	81.8	Beamish (1964)
<i>Salmo trutta</i>	1961.04—1962.02	10	350	66.7	75.8	Beamish (1964)
<i>Lepomis gibbosus</i>	1973春—1974冬	8—24	100	50.1	50.1	Evans (1984)
<i>Silurus meridionalis</i>	1991.09—1992.07	10.0—27.4	3560	29.5	28.8	本研究

测定表明, 南方鲇雌性成鱼静止代谢的年能量需求值为  $29.5 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{a})$ , 雄性的为  $28.8 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{a})$ , 与文献报道的上述几种鱼类相比较 (表3), 可以看出南方鲇静止代谢的总体水平明显较低, 仅为上述几种鱼类的35.2—57.4%。有关该物种幼鱼的静止代谢的研究也发现了相同的现象 (Xie et al., 1990)。我们认为, 这种现象与南方鲇特殊的生态习性相关。南方鲇是大型的专性肉食性鱼类, 主要以中、小型鱼类为食, 在获取猎物时, 多采用“潜伏突袭”的捕食方式; 它进食一次可获得较多的能量, 而捕食间歇的时间较长, 在非寻食期静息于水底, 这样节约能量的生态对策, 可能是它静止代谢水平较低的生物学基础。

## 参 考 文 献

- 张耀光、谢小军, 1996, 水生生物学学报, **20**: 8—16.
- 施白南, 1980, 西南师范大学学报(自然科学版), **2**: 45—52.
- 谢小军等, 1994, 西南师范大学学报, **19**: 71—78.
- 谢小军等, 1996, 水生生物学学报, **20**: 17—24.
- 谢小军、孙濡泳, 1989, 西南师范大学学报(自然科学版), **14**: 141—149.
- Beamish, F. W. H., 1964, *Can. J. Zool.*, **42**: 189—194.
- Brett, J. R., 1965, *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **22**: 1491—1501.
- Brett, J. R. & Glass, N. R., 1973, *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **30**: 379—387.
- Brett, J. R. & Groves T. D. D., 1979, *Fish Physiology*, Vol.8, ed. by Hoar W. S. et al., Academic Press (New York), pp. 279—352.
- Duthie, G. G. & Houlihan, D. F., 1982, *J. Fish Biol.*, **21**: 215—226.
- Elliott, J. M. & Davison, W., 1975, *Oecologia*, **19**: 195—204.
- Evans, D. O., 1984, *Trans. Am. Fish. Soc.*, **113**: 494—512.
- Jobling, M., 1985, *Fish Energetics: New Perspectives*, ed. by Tytler, P. et al., Groom Helm (London), pp. 213—230.
- Meakins, R. H., 1975, *Comp. Biochem. Physiol.*, **51A**: 155—157.
- Pierce, R. J. et al., 1981, *Trans. Am. Fish. Soc.*, **110**: 55—61.
- Pandey, E. T., 1976, *Polish Archives of Hydrobiology*, **23**: 327—332.
- Soofini, N. M. & Priede, I. G., 1985, *J. Fish Biol.*, **26**: 127—138.
- Xie, X. J. & Sun, R., 1990, *Physiol. Zool.*, **63**: 1181—1195.

## SEASONAL CHANGES IN RESTING METABOLISM OF THE ADULT *SILURUS MERIDIONALIS*

Cao Zhendong, Xie Xiaojun<sup>†</sup>

(Department of Biology, Chongqing Teachers College, Chongqing 630047)

<sup>†</sup> (Department of Biology, Southwest China Teachers University, Chongqing 630715)

**Abstract** The resting metabolic rates of 2.085—6.810kg adult *Silurus meridionalis* collected from the Jialing jiang River were measured with continuous-flow respirometers from Sep. 1991 to July 1992. At 10.0, 13.3, 16.0, 21.8, 22.2 and 27.4 °C, the measured values were 8.699, 21.980, 25.412, 30.563, 34.463 and 32.483 O<sub>2</sub> mg / (kg · h) in the female, and 8.146, 19.568, 26.830, 29.426, 32.156 and 32.098 O<sub>2</sub> mg / (kg · h) in the male, respectively. From the values, the metabolic rates at the standard conditions (20 °C; ♀: 4.126kg, ♂: 2.890kg) were converted by a statistical model. The results showed two peaks on the annual curves of the resting metabolic rates in both the male and the female. The rates March to May (the spawning season) and in Sep. to Nov. (when sexual products accumulate rapidly) were higher than those in other seasons, lower in July (summer), lowest in January (winter), indicating the annual changes in the metabolism correlated with the gonad development and reproduction activities of the fish. The annual energy requirements for resting metabolism were  $28.8 \times 10^5 \text{J} / (\text{kg} \cdot \text{a})$  in the male and  $29.5 \times 10^5 \text{J} / (\text{kg} \cdot \text{a})$  in the female. It is suggested that the level of resting metabolism in the fish, a large-size piscivore, is lower than those reported in several other fish species.

**Key words** Fish energetics    Resting metabolism    Seasonal changes  
Reproduction *Silurus meridionalis*