

流量和时间对中华倒刺鲃幼鱼 标准代谢率测定的影响^①

王 蕾¹, 付世建^{1,2}, 曾令清^{1,2}

1. 重庆师范大学 进化生理与行为学实验室, 重庆 401331; 2. 动物生物学重庆市重点实验室, 重庆 401331

摘要: 鱼类能量学研究通常用耗氧率(MO_2)表征其某一生理状态的代谢强度. 为考察不同流量和时间对鱼类标准代谢率(SMR)测定的影响, 本研究在水温(25 ± 0.5) °C 条件下选取 80 尾鱼体健康、体质量相近的中华倒刺鲃 *Spinibarbus sinensis* 幼鱼作为实验鱼, 研究在不同流量和测定时间条件下中华倒刺鲃幼鱼 SMR 数据的变化规律及稳定性. 实验共设定 5 个流量梯度(1 L/h, 2 L/h, 3 L/h, 4 L/h, 5 L/h), 每一流量连续测量 6 个时间点, 每隔 1 h 测定 1 次 SMR. 结果显示: 随着流量(v)逐渐加快, 实验鱼呼吸室与空白呼吸室的溶氧差值(ΔMO_2)呈指数型下降, 二者的拟合方程为 $\Delta MO_2 = 0.8722 v^{-0.9998}$ ($R^2 = 0.994$, $p < 0.001$). 不同流量条件下, 中华倒刺鲃幼鱼 ΔMO_2 的变异系数差异明显($p < 0.001$); 其中, 在流量 5 L/h 条件下, ΔMO_2 的变异系数最大. 设定流量对中华倒刺鲃幼鱼 SMR 测定无显著影响($p > 0.05$). 当流量越大时, 在不同测定时间下 SMR 重复性的比例趋于变小. 在设定的流量范围内中华倒刺鲃幼鱼 SMR 无显著差异, 考虑样本量的大小、实验鱼体质量及低氧敏感性, 建议鱼类 SMR 测定的流量设置不宜过快, 并且 SMR 测定时间介于末次摄食后 24~72 h 之间.

关 键 词: 标准代谢率; 流量; 时间; 稳定性; 中华倒刺鲃

中图分类号: Q959.46⁺8

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2017)09-0059-07

温度差异、季节交替及人为活动等因素常导致自然界水体的理化因子(如温度, 溶氧)产生明显的时空异质性. 水体理化性质的改变必然影响鱼类能量代谢强度, 如标准代谢率(Standard metabolic rate, SMR)^[1-4]. SMR 是指变温动物在非活动、无食物消化吸收状态的最小机体能量消耗强度, 是一种综合性的生理性能量消耗, 通常以耗氧率表征 SMR^[5-6]. SMR 是动物生活史理论重要的能量代谢参数, 某些种类的 SMR 可占个体能量总支出的 50%^[7], 并且个体在整个生活史中从外界获取的总能量有限, SMR 所占比例将影响机体其他生理功能(如生长和繁殖)的能量分配, 进而对个体乃至种群的生活史特征和适合度产生影响, 相关研究备受关注^[8-9]. 影响鱼类 SMR 的环境因素众多, 如温度、溶氧、盐度和食物丰度等, 以及易被研究人员忽略的因素如 SMR 的测定时间和流量, 然而相关研究报道较为匮乏. SMR 测定方法主要包括静水法和流水法, 因后者具有测定便捷、可成批操作等优点被研究人员广泛采用, 在此方法中流量成为鱼类 SMR 测定的重要影响因素^[10]. 此外, 现有研究基本上都采用溶氧测定仪测量水体溶氧水平并通过

① 收稿日期: 2016-07-23

基金项目: 国家自然科学基金(31300341); 重庆市自然科学基金(cstc2014jcyjA00018); 重庆市教委科技项目(KJ130619); 重庆师范大学青年人才拔尖培育计划项目(02030307-00027).

作者简介: 王 蕾(1994-), 女, 甘肃金昌人, 硕士研究生, 主要从事鱼类生理生态学研究.

通信作者: 曾令清, 副教授, 硕士研究生导师.

计算公式获得单尾鱼的耗氧率,但是所有测量仪器设备均存在固定的测量精度,据此推测较大流量可能导致连续测量过程中鱼类 SMR 数据变异程度更为明显.

中华倒刺鲃 *Spinibarbus sinensis* 是一种广温性底栖鲤科鱼类,也是我国长江上游水域的重要经济鱼类,喜成群栖息于底层多为乱石的流水中;该种鱼的生存温度范围为 0~36 ℃,最适摄食生长温度为 20~28 ℃,最佳摄食生长溶氧水平为 3.9 mg/L 以上^[11-12]. 本研究以中华倒刺鲃幼鱼为实验对象,考察不同测定时段和不同流量对该种鱼 SMR 测定的影响,以确定鱼类 SMR 测定的适合时段和流量范围,为鱼类能量学研究提供理论技术支撑.

1 材料与方法

1.1 实验鱼来源及驯化

于重庆市北碚区人工养殖基地购买中华倒刺鲃幼鱼,购回后将鱼置于实验室循环水槽(1.2 m×0.55 m×0.55 m,约 250 L)驯化 1 个月. 驯化期间,用颗粒浮性饵料(中国通威公司)每 3 d 投喂 1 次,投喂前 5 min 关闭充气泵和驯化水槽的循环水泵,以减少环境扰动对实验鱼自由摄食的影响,投喂 30 min 后用虹吸管清除残饵和粪便以维持水质,随后重新开启充气泵和水槽的循环系统. 实验用水为曝气 3 d 后的自来水,每 3 d 换水 1 次,每次约为驯养水体的三分之一,用充气泵不断向驯养水体充入空气使水体的溶氧水平大于 7.0 mg/L,驯化水温控制在(25.0±0.5) ℃.

1.2 实验设计

驯化结束后,随机选取鱼体健康、体质量相近[(6.32±0.12) g, $n=80$]个体作为实验对象,禁食 24 h 后对所有实验鱼进行 SMR 测定. 本研究共设定 5 个流量梯度(1 L/h, 2 L/h, 3 L/h, 4 L/h, 5 L/h). 其中, 1 L/h 和 2 L/h 的测量分别设定于第 1 d 的上午和下午(摄食后 24~48 h), 3 L/h 和 4 L/h 的测量设定于第 2 d 的上午和下午(摄食后 48~72 h), 5 L/h 的测量设定于第 3 d 的上午(超过摄食后 72 h). 在 SMR 测量时需提前将流量调整至目标流量梯度,每隔 1 h 测定 1 次,连续测定 6 个时间点;随后将流量调整至下一个流量梯度并间隔 1 h,以减少流速调整对实验鱼生理状态产生的影响,再进行 SMR 测定. 实验室流水式呼吸代谢仪每批最大样本量为 40,故将实验鱼随机分成 2 批测定.

1.3 SMR 的测定方法

本研究采用流水式呼吸代谢仪进行中华倒刺鲃幼鱼 SMR 测定,每台代谢仪包括 10 个实验鱼呼吸室和 1 个空白呼吸室,共采用 4 台呼吸代谢仪. 测定之前,将实验鱼装入代谢仪的呼吸室中驯化 24 h(即禁食过程),同时测量体质量(精度为 0.01 g)和体长(精度为 0.1 cm). 在 SMR 测定过程中,实验室环境保持安静以降低环境噪声对鱼生理代谢的影响. SMR mg/(kg·h)的计算公式为

$$SMR = \Delta O_2 \times v / m$$

式中, SMR 为标准代谢率, ΔO_2 为空白呼吸室(无鱼)和实验呼吸室(有鱼)出水口的溶氧差值(mg/L), v 为呼吸室的流量(L/h), m 为实验鱼的体质量(kg).

本研究采用 50 mL 容量瓶测定目标流量,每一流量(1 L/h, 2 L/h, 3 L/h, 4 L/h, 5 L/h)的测量误差控制在±5.0%之内. 经计算,上述梯度流量装满 50 mL 容量瓶的理论时间分别为 180 s, 90 s, 60 s, 45 s, 36 s. 代谢仪的水体温度控制在(25.0±0.5) ℃.

1.4 数据处理与统计

实验数据用 Excel 进行常规计算,所有数据均用“平均值±标准误”(Mean±SE)表示,显著性水平定为 $p<0.05$. 流量对中华倒刺鲃幼鱼 ΔMO_2 (溶氧差值)变异系数的影响以及不同流量下 SMR 显著差异的比较均采用单因素方差分析(One-way ANOVA analysis). 不同时间中华倒刺鲃幼鱼 SMR 的重复性采用 Pearson 相关分析.

2 结 果

2.1 流量与 SMR 及变异系数的关系

随着流量(v)逐渐增加, 实验鱼呼吸室与空白对照的溶氧差值(ΔMO_2)呈指数下降趋势, 二者的拟合方程为 $\Delta MO_2 = 0.8722 v^{-0.9998}$ (图 1, $R^2 = 0.994$, $p < 0.001$, $n = 80$). 在拟合方程中, 下降的指数(0.9998)接近 1 并且拟合度大于 0.99, 说明实验数据与理论数据十分接近.

流量对中华倒刺鲃幼鱼 ΔMO_2 变异系数产生显著影响(图 2, $F = 20.994$, $p < 0.001$). 其中, 在流量为 5 L/h 条件下, ΔMO_2 的变异系数最大, 而流量 1 L/h 和 3 L/h 的 ΔMO_2 变异系数最小.

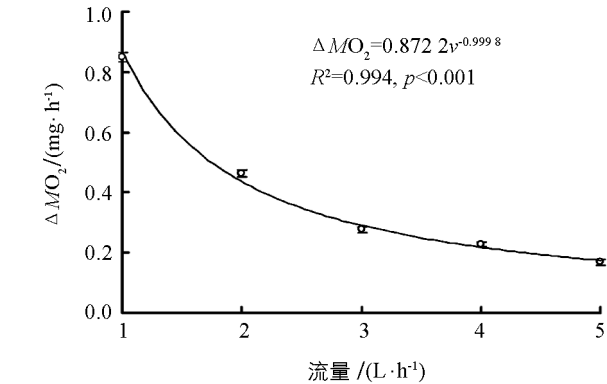


图 1 呼吸室溶氧差值与流量的关系

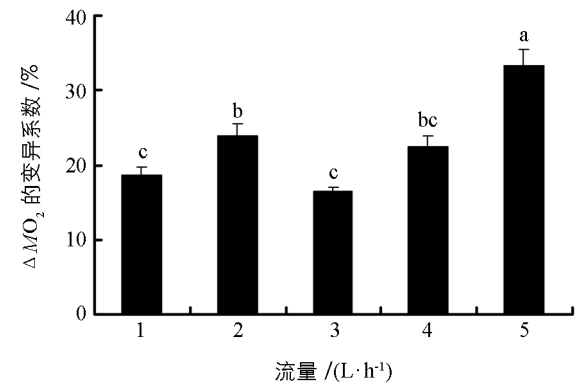


图 2 流量对中华倒刺鲃幼鱼 ΔMO_2 变异系数的影响

在不同流量条件下, 中华倒刺鲃幼鱼的单尾鱼耗氧率和单位体质量耗氧率均无显著差异(图 3a, 单尾鱼耗氧率为 $F = 1.838$, $p = 0.149$; 图 3b, 单位体质量耗氧率: $F = 2.002$, $p = 0.120$).

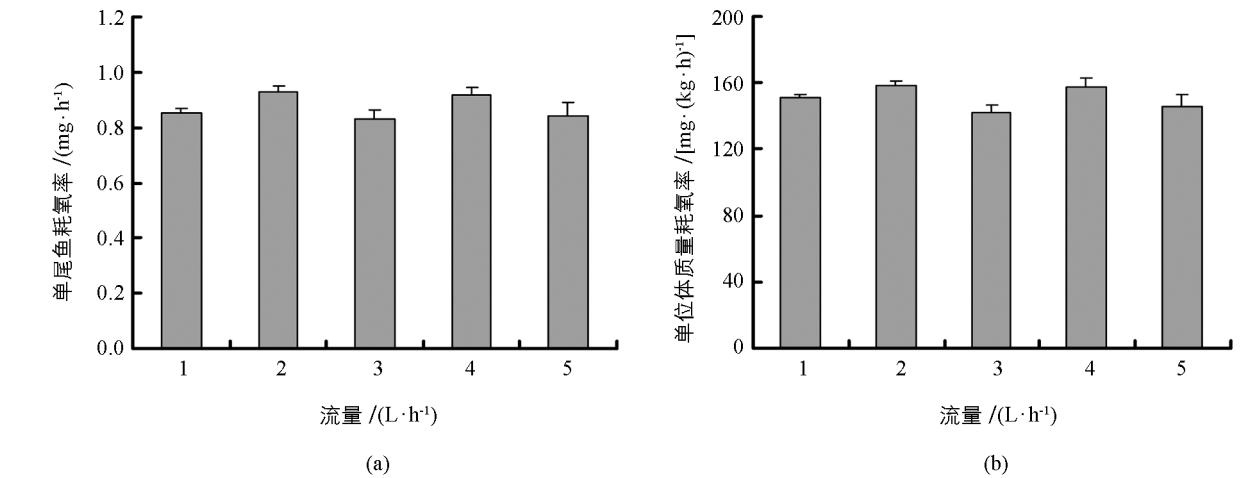


图 3 流量对中华倒刺鲃标准代谢率测定的影响

2.2 5 种流量不同时间下中华倒刺鲃幼鱼 SMR 的重复性

用 Pearson 相关分析考察每一流量下不同时间之间的 SMR 相关性, 在 $n = 80$ 时, 当 $r > 0.217$, $p < 0.05$ 时为显著; 当 $r > 0.283$, $p < 0.01$ 时为极显著(表 1). 在流量为 1 L/h 条件下, SMR 的重复性具有显著相关的比例为 6.67%, 呈极显著相关的比例为 66.67%, 不相关的比例为 26.67%; 在流量为 2 L/h 条件下, SMR 的重复性具有显著相关的比例为 20%, 呈极显著相关的比例为 66.67%, 不相关的比例为 13.33%; 在流量为 3 L/h 条件下, SMR 的重复性呈显著相关的比例为 6.67%, 呈极显著相关的比例为 80%, 不相关的比例为 13.33%; 在流量为 4 L/h 条件下, SMR 的重复性呈显著相关的比例为 6.67%, 呈极显著相关的比例为 60%, 不相关的比例为 33.33%; 在流量为 5 L/h 条件下, SMR 的重复性呈显著相关

的比例为 6.67%，呈极显著相关的比例为 60%，不相关的比例为 33.33%。这些数据表明当流量越大时，在不同测定时间下 SMR 重复性的比例趋向变小。

表 1 不同流量条件下中华倒刺鲃幼鱼 SMR 的重复性

流量	时间	相 关 性				
		2	3	4	5	6
1 L/h	1	$r=0.253^*$	$r=0.178$	$r=0.380^{**}$	$r=0.291^{**}$	$r=0.299^{**}$
	2		$r=0.134$	$r=0.579^{**}$	$r=0.500^{**}$	$r=0.471^{**}$
	3			$r=0.089$	$r=0.426^{**}$	$r=0.142$
	4				$r=0.442^{**}$	$r=0.452^{**}$
	5					$r=0.454^*$
2 L/h	1	$r=0.422^{**}$	$r=0.353^{**}$	$r=0.437^{**}$	$r=0.494^{**}$	$r=0.173$
	2		$r=0.184$	$r=0.252^*$	$r=0.583^{**}$	$r=0.340^{**}$
	3			$r=0.612^{**}$	$r=0.239^*$	$r=0.224^*$
	4				$r=0.321^{**}$	$r=0.324^{**}$
	5					$r=0.465^{**}$
3 L/h	1	$r=0.393^{**}$	$r=0.415^{**}$	$r=0.342^{**}$	$r=0.236^*$	$r=0.340^{**}$
	2		$r=0.684^{**}$	$r=0.614^{**}$	$r=0.148$	$r=0.610^{**}$
	3			$r=0.612^{**}$	$r=0.381^{**}$	$r=0.683^{**}$
	4				$r=0.392^{**}$	$r=0.450^{**}$
	5					$r=0.212$
4 L/h	1	$r=0.246^*$	$r=0.533^{**}$	$r=0.214$	$r=0.392^{**}$	$r=0.342^{**}$
	2		$r=0.043$	$r=0.043$	$r=0.326^{**}$	$r=0.404^{**}$
	3			$r=0.293^{**}$	$r=0.291^{**}$	$r=0.025$
	4				$r=0.346^{**}$	$r=0.088$
	5					$r=0.635^{**}$
5 L/h	1	$r=0.030$	$r=0.560^{**}$	$r=0.299^{**}$	$r=0.038$	$r=0.527^{**}$
	2		$r=0.210$	$r=0.042$	$r=0.215$	$r=0.263^*$
	3			$r=0.693^{**}$	$r=0.516^{**}$	$r=0.686^{**}$
	4				$r=0.423^{**}$	$r=0.533^{**}$
	5					$r=0.438^{**}$

表 1 中“*”表示相关性在 $p<0.05$ 显著,“**”表示相关性在 $p<0.01$ 极显著。

3 讨 论

已有研究证明影响鱼类 SMR 的因素有很多,如温度^[13-15]、溶氧量^[16]等。流量作为重要的水动力学条件之一,对鱼类的生理、生存和繁殖有着极其重要的影响^[17],它通过刺激鱼的感官使其产生不同的运动机制和相应的活动方式^[18]。SMR 是鱼类能量代谢模型中最敏感的变量之一,所有的环境因素在 SMR 中都有所反映^[19]。

本研究选取 5 个不同流量既考虑到较高流量可能带来数据变异较大的现象,也考虑到较小流量可能导致呼吸室中的实验鱼产生低氧胁迫,进而对测定正常生理状态下 SMR 产生影响。本研究发现设定的流量范围内中华倒刺鲃幼鱼 SMR 测定的平均值不受流量大小的影响。根据计算公式 $SMR=\Delta O_2\times v/m$,当流量逐渐增大,而溶氧差值(ΔO_2)应逐渐减小,二者成反比关系。本研究发现,流量(v)与溶氧差值(ΔO_2)拟

合方程的 R^2 为 0.994(超过 0.99), 并且下降指数(0.999 8)接近 1.0, 说明实测数据与理论数据十分接近(图 1), 表明在 1~5 L/h 流量范围中流水式呼吸代谢仪空白管与实验管的溶氧差值与流量的关系符合数学理论模型.

用平均值衡量表型特征有助于比较不同处理间的差异, 而反映组内数据变异则可用变异系数($CV = \text{标准差} / \text{平均值} \times 100$)评估. 在上述公式中 $\Delta O_2 = MO_{2\text{空白管}} - MO_{2\text{实验管}}$, 前者是指代谢仪空白呼吸室的溶氧水平, 后者是装有实验鱼呼吸室的溶氧水平. 本研究每一流量均设定了 6 个测量时间点, 如果人为误差和仪器误差保持不变, 那么不同时间条件下 ΔO_2 也应保持不变. 本研究通过 CV 评估 ΔO_2 却发现, 不同流量条件下 ΔO_2 变异程度差异明显(图 2), 并且较高流量条件下的 ΔO_2 变异系数相对较大, 这也支持本研究提出的猜测. 另外, 不论是单尾鱼耗氧率还是单位体质量耗氧率表征中华倒刺鲃幼鱼 SMR 时, 不同流量条件下二者的平均值均不受影响, 表明在 1~5 L/h 流量范围中以平均值表征中华倒刺鲃幼鱼 SMR 具有可靠性. 进一步分析可知, 本研究设定不同流量的测量时间介于中华倒刺鲃幼鱼最后 1 次摄食后的时间范围内(24~72 h 及以上), 并且不同时间测量中华倒刺鲃幼鱼的 SMR 无显著差异. 现有研究认为鱼类 SMR 测量至少在摄食后 24 h 以上^[6, 10]. 然而, 过长时间的禁食会导致鱼类正常生理状态进入饥饿状态^[20]. 结合本研究的实验结果, 建议鱼类 SMR 的测量时间范围介于末次摄食后 24~72 h.

有关 SMR 测量过往研究所采用的流量不尽相同(表 2), 如鲫 *Carassius auratus* 幼鱼的流量范围介于 4.8~6.0 L/h 之间, 鳟 *Salmo trutta* 的流量范围介于 1.47~1.68 L/h 之间, 大西洋鲑 *Salmo salar* 的流量为 2.1 L/h. 本研究设定的流量范围介于 1.0~5.0 L/h 之间, 涵盖上述研究的测量范围. 值得注意的是, 这些研究实验鱼的体质量与流量呈一定程度的正相关, 即体质量越大的鱼需要的 SMR 流量也相应越高, 与研究者考虑到流水式测量过程中实验鱼呼吸导致呼吸室水体溶氧水平降低, 但降低的溶氧水平不成为鱼的低氧胁迫有关, 提示相关研究需要关注 ΔO_2 的实际大小与不同鱼类低氧耐受能力的关系.

表 2 不同研究的流量和 SMR 比较

鱼 种	体质量/ g	SMR / [$\text{mg} \cdot \text{h}^{-1}$ 或 $\text{mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{h})^{-1}$]	流量 / ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$)	参考文献
鳟 <i>Salmo trutta</i>	9.89 ± 0.29	0.96 ± 0.29	1.47	[6]
鳟 <i>Salmo trutta</i>	12.18 ± 0.29	1.33 ± 0.03	1.68	[6]
鲫 <i>Carassius auratus</i>	13.39 ± 0.16	173.5 ± 9.5	4.8~6.0	[21]
鳟 <i>Salmo trutta</i>	8.45 ± 0.13	0.85 ± 0.07	2.1	[22]
中华倒刺鲃 <i>Spinibarbus sinensis</i>	5.76 ± 0.09	0.84 ± 0.02	1.0~5.0	本研究

表型特征的稳定性是指在不同时空或环境条件下, 实验动物的可量表型性状测量结果在数值上的大小排序问题, 可通过相关性分析评价排序结果的优劣^[23], 即相关数值 r 值越高表示表型特征的稳定性越好^[24-25]. 已有研究证明不同鱼类在不同时期、不同生活状态下具有相应的 SMR ^[24, 26], 但在一定时间内, SMR 将趋于稳定^[23]. 本研究通过考察不同流量下中华倒刺鲃幼鱼 SMR 相关性分析发现, 随着流量的加快, 实验鱼 SMR 重复性呈现出显著和极显著的比例逐渐减少, 而呈现出不相关的数据比例逐渐增大, 表明流量越大, SMR 稳定性逐渐降低.

不同流量条件下中华倒刺鲃幼鱼 ΔO_2 的变异系数差异明显; 流量对中华倒刺鲃幼鱼的 SMR 测定结果无显著影响, 然而当流量越大时在不同测定时间下 SMR 重复性的比例趋于变小. 本研究建议鱼类幼鱼 SMR 测定的流量不宜过快, 并且 SMR 测定时间介于末次摄食后 24~72 h 之间.

参考文献:

- [1] ALVAREZ D, NICIEZA A G. Is Metabolic Rate a Reliable Predictor of Growth and Survival of Brown Trout (*Salmo trutta*) in the Wild? [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2005, 62(3): 643—649.
- [2] VAN LEEUWEN T E, ROSENFELD J S, JEFFREY RICHARDS J, et al. Effects of Food Ration on SMR: Influence of Food Consumption on Individual Variation in Metabolic Rate in Juvenile Coho Salmon (*Onchorhynchus kisutch*) [J]. Journal of Animal Ecology, 2012, 81(2): 395—402.
- [3] REID D, ARMSTRONG J D, METCALFE N B. Estimated Standard Metabolic Rate Interacts with Territory Quality and Density to Determine the Growth Rates of Juvenile Atlantic Salmon [J]. Functional Ecology, 2011, 25(6): 1360—1367.
- [4] KILLEN S S. Growth Trajectory Influences Temperature Preference in Fish Through an Effect on Metabolic Rate [J]. Journal of Animal Ecology, 2014, 83(6): 1513—1522.
- [5] BECK F, GROPP J. Estimation of the Starvation Losses of Nitrogen and Energy in the Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) with Special Regard to Protein and Energy Maintenance Requirements [J]. Journal of Applied Ichthyology, 1995, 11(3/4): 263—275.
- [6] AUER S K, SALIN K, RUDOLF A M, et al. Flexibility in Metabolic Rate Confers a Growth Advantage Under Changing Food Availability [J]. Journal of Animal Ecology, 2015, 84(5): 1405—1411.
- [7] STEYERMARK A C, MIAMEN A G, FEGHAHATI H S, et al. Physiological and Morphological Correlates of Among-Individual Variation in Standard Metabolic Rate in the Leopard Frog *Rana pipiens* [J]. The Journal of Experimental Biology, 2005, 208(6): 1201—1208.
- [8] 刘 欢, 李秀明, 付世建, 等. 锦鲤幼鱼标准代谢率与生长性能的关联 [J]. 水生生物学报, 2016, 40(4): 836—842.
- [9] BURTON T, KILLEN S S, ARMSTRONG J D, et al. What Causes Intraspecific Variation in Resting Metabolic Rate and What Are Its Ecological Consequences? [J]. Proceeding of the Royal Society B: Biological Sciences, 2011, 278(1724): 3465—3473.
- [10] CHABOT D, STEFFENSEN J F, FARRELL A P. The Determination of Standard Metabolic Rate in fishes [J]. Journal of Fish Biology, 2016, 88(1): 81—121.
- [11] 钱名全. 中华倒刺鲃 [J]. 湖南农业, 2004(12): 15.
- [12] 李 萍, 王宝森. 中华倒刺鲃 [J]. 生物学通报, 2008, 43(8): 17.
- [13] ZENG L Q, ZHANG Y G, CAO Z D, et al. Effect of Temperature on Excess Post-Exercise Oxygen Consumption in Juvenile Southern Catfish (*Silurus meridionalis* Chen) Following Exhaustive Exercise [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2010, 36(4): 1243—1252.
- [14] GUDERLEY H. Metabolic Responses to Low Temperature in Fish Muscle [J]. Biological Reviews, 2004, 79(2): 409—427.
- [15] 陈波见, 曹振东, 付世建, 等. 温度对鳊鱼静止代谢和耐低氧能力的影响 [J]. 动物学杂志, 2010, 45(5): 1—8.
- [16] 赵文文, 曹振东, 付世建. 溶氧水平对鳊鱼、中华倒刺鲃幼鱼游泳能力的影响 [J]. 水生生物学报, 2012, 36(2): 314—320.
- [17] 李 想, 林小涛, 宋波澜, 等. 流量对红鳍银鲫幼鱼游泳状态的影响 [J]. 动物学杂志, 2010, 45(2): 126—133.
- [18] FRY F E J. The Effect of Environmental Factors on the Physiology of Fish [J]. Fish Physiology, 1971(6): 1—98.
- [19] KADYE W T, NGONIDZASHE A G M, CHRISTOPHER H D M, et al. Habitat Associations of Three Stream Fishes on a Montane Plateau (Nyika Plateau, Malawi) [J]. Acta Zoologica Sinica, 2008, 54(1): 67—76.
- [20] MCCUE M D. Starvation Physiology: Reviewing the Different Strategies Animals Use to Survive a Common Challenge [J]. Comparative Biochemistry and Physiology A, 2010, 156(1): 1—18.
- [21] 曾令清, 付世建, 曹振东. 鲫幼鱼(*Carassius auratus*)标准代谢个体差异与力竭后代谢特征及行为的关联 [J]. 生态学报, 2016, 36(6): 1746—1755.
- [22] AUER S K, SALIN K, RUDOLF A M, et al. The Optimal Combination of Standard Metabolic Rate and Aerobic Scope for Somatic Growth Depends on Food Availability [J]. Functional Ecology, 2015, 29(4): 479—486.
- [23] 曾令清, 彭韩柳依, 王建伟, 等. 饥饿对南方鲇幼鱼游泳能力的个体变异和重复性的影响 [J]. 水生生物学报, 2014, 38(5): 883—890.
- [24] NORIN T, MALTE H. Repeatability of Standard Metabolic Rate, Active Metabolic Rate and Aerobic Scope in Young

- Brown Trout During a Period of Moderate Food Availability [J]. The Journal of Experimental Biology, 2011, 214(10): 1668—1675.
- [25] NESPOLO R F, FRANCO M. Whole-Animal Metabolic Rate is a Repeatable Trait: a Meta-Analysis [J]. The Journal of Experimental Biology, 2007, 210(11): 2000—2005.
- [26] MACIAK S, KONARZEWSKI M. Repeatability of Standard Metabolic Rate (SMR) in a Small Fish, the Spined Loach (*Cobitis taenia*) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology A, 2010, 157(2): 136—141.

The Effects of Flow Rate and Time on the Measurement of Standard Metabolic Rate in Juvenile Qingbo (*Spinibarbus sinensis*)

WANG Lei¹, FU Shi-jian^{1,2}, ZENG Ling-qing^{1,2}

1. Laboratory of Evolutionary Physiology and Behaviour, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China;

2. Chongqing Key Laboratory of Animal Biology, Chongqing 401331, China

Abstract: Oxygen consumption rate (MO_2) is usually used to estimate the metabolism rate in fish energy metabolic studies. In order to investigate the effects of flow rate and measurement time on standard metabolic rate (SMR) in fishes, 80 juvenile Qingbo (*Spinibarbus sinensis*) individuals with healthy body and similar body mass were used as fish model under the laboratory conditions of $(25.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$. During the course of the experiment, five flow rates (1, 2, 3, 4 and 5 L/h) were employed and each flow rate was continuously employed for six time points when SMR was measured per hour. The present study showed that differences in oxygen level (ΔMO_2) of the outlets between the blank chamber and the experimental chamber decreased exponentially as the flow rate (v) increased, the equation being $\Delta MO_2 = 0.872 \cdot 2 \cdot v^{-0.9998}$ ($R^2 = 0.994$, $p < 0.001$). The ΔMO_2 were affected significantly by the flow rate ($F = 20.994$, $p < 0.001$), with the maximum value appearing at 5 L/h. The designed flow rates appeared to have no significant influence on SMR measurement of the juvenile *S. sinensis* ($p > 0.05$). Additionally, the repeatability of SMR measured at different time points seemed to decline with increasing flow rate. Although there was no difference in average values of SMR among the designed range of flow rate, the sample number, body mass, and fish's sensitivity to hypoxia should be considered before designing the energy metabolism experiment in fishes. The present study suggested that the flow rate for juvenile fish SMR measurement should not be too fast, and the measurement should be made between 24 and 72 h after the last feeding.

Key words: standard metabolic rate; flow rate; time; repeatability; *Spinibarbus sinensis*

责任编辑 夏 娟

