

温度对斑马鱼静止代谢率和氨氮排泄率的影响^{*}

李 格, 谢 航, 何定聪, 罗毅平

(西南大学 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘要:本研究测定了18, 23, 28, 33℃等温度下斑马鱼(*Danio rerio*)的静止代谢率(RMR)和氨氮排泄率(AN)。结果表明, RMR值与温度(*T*)显著正相关, 二者关系可用指数函数描述: $Y_{RMR} = 21.28e^{0.0903T}$ ($r^2 = 0.562, n = 55, p < 0.01$); 雄鱼对温度的敏感性高于雌鱼; 随着温度上升, AN显著增加 ($p < 0.05$); 各温度下, 氨熵(AQ)值分别为0.34, 0.14, 0.10和0.16。研究认为, 13和38℃可能是斑马鱼可长期耐受的温度下限和上限, 该种鱼RMR水平较高且对温度变化较敏感; 蛋白供能比过高可能是斑马鱼不适宜低温生存的原因, 低温是否促进斑马鱼的无氧代谢有待进一步研究。

关键词:斑马鱼(*Danio rerio*); 温度; 静止代谢率; 氨氮排泄率

中图分类号: Q955

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2015)04-0044-05

代谢率(MR)是基本生物学速率之一^[1]。标准代谢率是在一定温度下处于禁食、安静状态的鱼所保持的最低代谢水平^[2-4]。实验条件下测得的代谢率近似等于标准代谢率, 称为静止代谢率(Resting metabolic rate, RMR)^[5]。硬骨鱼类排泄的主要代谢废物是氨氮^[6-7], 一般约占总排泄氮的80%^[8]。氨氮为蛋白质代谢的终产物, 它的排泄水平可以反映蛋白质在体内转化利用的情况^[9-11]。通常采用氨氮排泄率(AN)和耗氧率之比即氨熵(Ammonia quotient, AQ)表征蛋白质作为代谢底物供能的比例: 当全部能量来自于蛋白质的氧化时, AQ值等于0.33; 若AQ值高于0.33, 可能发生了无氧代谢; 若AQ值低于0.33, 则有其他代谢底物参与氧化供能^[12]。

温度是重要的环境因子, 对外温动物的RMR、AN和AQ均有影响。在适宜温度范围内, 鱼类的代谢水平随温度上升而升高, 如鳊鱼(*Parabramis pekinensis*)^[13]、瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus Vachelli*)^[14]和大鳍鱮(*Mystus macropterus*)^[15]。MR随温度的变化通常以指数函数 $Y_{MR} = ae^{cT}$ 表示。该式中*a*值为常数; *c*值反映MR对温度的敏感性, 一般在0.05~0.1之间; *T*为温度^[16]。排氨水平也随温度变化而改变, 南方鲇(*Silurus meridionalis*)的AN值随温度上升明显升高^[10]; 卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)的RMR、AN的值均随温度升高先增高后降低^[17]。AQ值随温度的变化较多样, 可能与物种特性有关: 南方鲇的静止AQ值随温度升高不变, 而摄食后却随温度升高而降低^[10-11], 黑鲷(*Girella melanichthys*)的AQ值随温度升高而降低^[18], 卵形鲳鲹的AQ值随温度升高先增高后降低^[17]。

斑马鱼(*Danio rerio*)作为一种脊椎动物模式生物广泛应用于发育及遗传等研究领域, Massimo等人提出斑马鱼也可作为研究单个组织或者个体代谢的模式生物^[19]。已有研究报道了运动训练对斑马鱼生长和代谢的影响^[20], 体质量和有氧代谢的异速关系^[21]。有研究发现温度影响该鱼的耗氧率和心率^[22]、光敏感性功能^[23]和性逆转^[24]。但斑马鱼排氨及蛋白供能比是否受温度影响尚不清楚。本研究以斑马鱼为研究对象, 探讨温度对斑马鱼RMR和AN的影响, 分析不同温度下该鱼的蛋白供能比例, 旨在为斑马鱼个体代谢研究提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 实验鱼的来源

实验鱼购自广东合生水族养殖中心, 于25℃驯养14 d以上, 驯养期间每天饱足投喂商业饲料1次。实验前选用体质量接近的实验鱼作为温度处理的对象。

* 收稿日期: 2014-11-05 修回日期: 2014-12-08 网络出版时间: 2015-3-24 13:53

资助项目: 国家自然科学基金(No. 31000958); 重庆市自然科学基金(No. CSTC2013jcyjA80023); 德阳重点科学技术研究项目(No. 2012ZZ040-10)

作者简介: 李格, 女, 研究方向为鱼类生理生态, E-mail: 975083361@qq.com; 通信作者: 罗毅平, 研究员, E-mail: luoguo@swu.edu.cn

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20150324.1353.037.html>

1.2 温度处理

实验设计了 13,18,23,28,33,38 ℃ 等 6 个温度梯度,每个温度各 14 尾鱼,其中雌雄各半,体质量为 (0.141 ± 0.006) g。实验水体以 $1\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}^{-1}$ 的变化速率达到设计温度,水温控制精度为 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,光照时间为 12 h (8:00~20:00),在稳定的温度条件下实验鱼处理 14 d。实验期间 13 ℃ 组每 2 d 投喂 1 次,其他组每 1 d 投喂 1 次。14 d 结束后,禁食 1 d,将实验鱼装入呼吸室,适应 24 h 后开始测定耗氧率和排氨率。

1.3 耗氧率和 AN 的测定

实验采用流水式呼吸仪,呼吸室容积为 4 mL,鱼体能充分舒展而不能剧烈运动。每个呼吸室内各放入 1 尾实验鱼,另有 1 个呼吸室不放鱼,作为空白对照。用气泵向水中持续充入空气,以保持进口水中溶氧接近饱和状态。测定前调节流速,使呼吸室出、入水口的溶氧含量差值大于 $0.2\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。上午 10:00 开始测定,每 2 h 测定 1 次,共测定 6 次。溶氧含量的测定采用与溶氧测定系统相连的光纤传感器(Microx TX3,PreSens-Precision Sensing GmbH Regensburg,Germany),各温度下测定前均对光纤传感器进行 0% 和 100% 氧饱和度校准。在测定程序 Oxyview(PreSens)中设定每 4 s 记值 1 次,记值 1 min,以最末 10 个值的均值作为溶氧含量值。流速测定采用 5 mL 容量瓶收集水,以秒表记录耗时。各时间点耗氧率测定完成后,取水样待测氨氮含量。氨氮含量的测定采用水杨酸——次氯酸钠法^[25]。实验结束立即称取实验鱼的体质量(精度为 $\pm 0.1\text{ mg}$)。

1.4 数据分析

RMR、AN 值计算公式分别为: $Y_{\text{RMR}} = \Delta O_2 v w^{-1}$ (单位: $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,mg 为溶氧的质量单位); $Y_{\text{AN}} = \Delta N v w^{-1}$ (单位: $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,mg 为氨氮质量单位)。以上两式中, ΔO_2 和 ΔN 分别为空白和实验鱼呼吸室溶氧、氨氮含量(单位均为 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)的差值, v 为呼吸室中水的流速(单位: $\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$), w 为鱼体的湿质量(单位:kg)。AQ 值计算公式为: $Y_{\text{AQ}} = (Y_{\text{AN}}/Y_{\text{RMR}}) \times (32/14)$,式中 14,32 分别为 N 原子量和 O_2 分子量。

采用 Excel 进行常规计算,SPSS 20.0 对实验数据进行回归分析和单因素方差分析(One-way ANOVA),多重比较采用 LSD 法,数据以“平均值 $\pm$ 标准误”表示,显著性水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果

实验中,13 ℃ 组的实验鱼进入呼吸室后 24 h 内全部死亡,38 ℃ 组的实验鱼在处理温度达到 38 ℃ 后 48 h 内全部死亡,故均未取得耗氧率和排氨率实验数据。在 18 ℃ 温度组测量过程中 1 尾鱼死亡,最终取得数据的总样本量为 55。18,23,28 和 33 ℃ 组实验鱼的体质量分别为 (0.101 ± 0.005) , (0.159 ± 0.010) , (0.170 ± 0.013) 和 (0.131 ± 0.007) g。

2.1 对 RMR 的影响

图 1 表明,雌雄斑马鱼 RMR 与 T 的关系分别为 $Y_{\text{雌RMR}} = 36.85e^{0.0665T}$ ($r^2 = 0.472, n = 28, p < 0.01$), $Y_{\text{雄RMR}} = 11.87e^{0.1153T}$ ($r^2 = 0.674, n = 27, p < 0.01$);分别进行多重比较,结果均显示 33 ℃ 组分别与 18,23 和 28 ℃ 组之间 RMR 均有显著差异($p < 0.05$),其他组间差异则不显著。以 T 为协变量,协方差分析发现,性别对 RMR 的影响不显著,因此将雌鱼和雄鱼作为同一样本进行统计处理。图 1 还表明, T 对斑马鱼 RMR 有显著影响($p < 0.01$),随 T 值上升,RMR 值显著增加,二者关系可用指数函数拟合: $Y_{\text{RMR}} = 21.28e^{0.0903T}$ ($r^2 = 0.562, n = 55, p < 0.01$)。方差分析及多重比较结果显示,23,28 ℃ 组之间 RMR 差异不显著,而其他各组间均差异显著($p < 0.05$)。

2.2 对 AN 的影响

以 T 为协变量,协方差分析发现,性别对 AN 的影响不显著,因此将雌鱼和雄鱼作为同一样本进行统计处理。经方差分析, T 对 AN 的影响显著,随 T 值的上升,AN 值显著增加($p < 0.05$),多重比较结果显示, ($p < 0.05$)。33 ℃ 下实验鱼 AN 值分别与 18,23 和 28 ℃ 组 AN 值之间均有显著差异($p < 0.05$),其他组间差异不显著(图 2)。

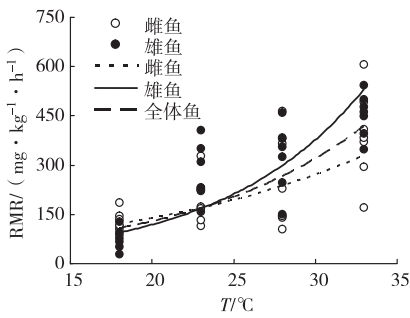
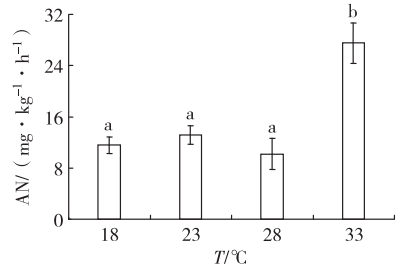


图 1 温度对斑马鱼静止代谢率的影响
Fig.1 The effect of temperature on RMR in zebrafish



注: 不同字母表示组间差异显著
图 2 温度对斑马鱼 AN 的影响
Fig.2 The effect of temperature on AN of zebrafish

2.3 对 AQ 的影响

在 18, 23, 28 和 33 °C 下, 实验鱼 AQ 值分别为 0.34, 0.14, 0.10 和 0.16 (图 3)。以 T 为协变量, 协方差分析发现, 性别对 AQ 的影响显著, 因此将雌鱼和雄鱼作为不同样本进行统计处理。经方差分析, T 对雌性 AQ 的影响不显著; 而随 T 的上升, 雄性 AQ 值显著降低 ($p < 0.05$)。

3 讨论

斑马鱼可在 18~32 °C 间正常生存^[26], 它的急性耐受温度范围为 6.2~39.2 °C^[27], 水温低于 15 °C 时, 斑马鱼会表现出运动能力削弱及行为模式异常^[28]。本研究发现, 缓慢变温到 13 °C 或 38 °C 时, 斑马鱼均全部死亡, 由此可见, 13 °C, 38 °C 可能分别是斑马鱼长期可耐受的溫度下限和上限。

在 18~33 °C 之间, 斑马鱼 RMR 值的变幅为 102.0~420.8 mg · kg⁻¹ · h⁻¹, 代谢水平高于南方鲇 (12.5~32.5 °C, 33.4~174.3 mg · kg⁻¹ · h⁻¹)^[10]。本研究中, 斑马鱼的 RMR 不存在性别差异, 这与杨晗等人的研究结果类似, 他们发现雌雄鲫鱼 (*Carassius auratus*) 的 RMR 也无显著差异^[29]。斑马鱼 RMR 与温度的关系中, c 值为 0.090 3, 高于齐口裂腹鱼 (*Schizothorax prenanti*) 的 0.033^[30]、瓦氏黄颡鱼的 0.038^[14] 以及南方鲇的 0.050^[31], 接近圆口铜鱼 (*Coreius guichenoti*) 的 0.093^[32], 这表明不同鱼类对温度的敏感性不同, 斑马鱼应为温度敏感性相对较高的鱼类。本研究发现了一个有趣的现象, 雌鱼的温度敏感性 ($c = 0.066 5$) 远低于雄鱼 ($c = 0.115 3$); 而造成温度敏感性性别差异的原因尚不清楚, 需要更多的研究揭示。

斑马鱼的 A_N 高于红大麻哈鱼 (*Oncorhynchus nerka*)^[7]、牙鲈 (*Paralichthys olivaceus*)^[33]、虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)^[34]、南方鲇^[10] 和鲇 (*Silurus asotus*) 幼鱼^[35] 等。一些文献中计算 AQ 值时错误地采用了排氮和耗氧的质量单位之比^[10, 17-18, 36-37], 而非摩尔单位之比^[7, 9, 11-12, 38-40], 导致得到的 AQ 值偏低, 今后的研究应注意纠正这一错误。在 18, 23, 28 和 33 °C 下, 斑马鱼的蛋白供能比 (AQ 值除以 0.33 后再乘以 100%) 分别为 103%、42%、30% 和 48%。28 °C 是斑马鱼最适温度^[41], 本研究结果表明, 在最适温度下, 斑马鱼的蛋白质较少用于氧化供能, 而大部分用于维持身体正常的结构和功能, 在一定程度上节约了蛋白质。而在低温下, AQ 值大于 0.33, 推测斑马鱼体内的蛋白质全部用于氧化供能, 且可能还存在一定程度的无氧代谢, 这可能也是导致该种鱼不适宜低温生存的原因。此外, 低温是否能够促进斑马鱼的无氧代谢有待进一步研究验证。

参考文献:

- [1] Brown J H, Gillooly J F, Allen A P, et al. Toward a metabolic theory of ecology [J]. Ecology, 2004, 85 (7): 1771-1789.
- [2] 谢小军, 孙儒泳. 影响鱼类代谢的主要生态因素的研究进展 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1989, 14 (4): 141-149.
Xie X J, Sun R Y. New perspective of the studies on several important ecological factors influencing metabolism of fishes—a review [J]. Journal of Southwest Normal University: Natural Science Edition, 1989, 14 (4): 141-149.
- [3] 杨振才, 谢小军, 孙儒泳. 鲇鱼的静止代谢率及与体质量、温度和性别的关系 [J]. 水生生物学报, 1992, 19 (4): 368-373.
Yang Z C, Xie X J, Sun R Y. The resting metabolic rate of the common catfish (*Silurus asotus*) as a function of body weight, temperature and sex [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1992, 19 (4): 368-373.
- [4] 陈娟, 谢小军. 大鳍鲢成鱼静止代谢率的初步研究 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2002, 27 (6): 927-931.
Chen J, Xie X J. Study on resting metabolism of the adults in bagrid catfish, *Mystus macropterus* [J]. Journal of South-
- west Normal University: Natural Science Edition, 2002, 27 (6): 927-931.
- [5] Xie X J, Sun R Y. The bioenergetics of the southern catfish (*Silurus meridionalis*): 1. resting metabolic rate as a function of body weight and temperature [J]. Physiology zoology, 1990, 63 (6): 1181-1195.
- [6] Forster P P, Goldstein L. Fish Physiology [M]. New York: Academic Press, 1969.
- [7] Brett J R, Zala C A. Daily pattern of nitrogen excretion and oxygen consumption of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) under controlled conditions [J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1975, 32 (12): 2479-2486.
- [8] Randall D J, Wright P A. Ammonia distribution and excretion in fish [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 1987, 3 (3): 107-120.
- [9] Boeck G D, Smet H D, Blust R. The effect of sublethal levels of copper on oxygen consumption and ammonia excretion in the common carp, *Cyprinus carpio* [J]. Aquatic Toxicology, 1995, 32 (2): 127-141.
- [10] 况莉, 谢小军. 温度对饥饿状态下南方鲇幼鱼氨氮排泄的影响 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2001, 26 (1):

- 45-50.
- Effect of water temperature on ammonia-N excretion in starved juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis*) [J]. Journal of Southwest Normal University: Natural Science Edition, 2001, 26(1): 45-50.
- [11] Luo Y P, Xie X J. The effect of temperature on post-feeding ammonia excretion and oxygen consumption in the southern catfish [J]. Journal of Comparative Physiology B, 2009, 179(6): 681-689.
- [12] Kutty M N. Respiratory quotient and ammonia excretion in tilapia mossambica [J]. Marine Biology, 1972, 16(2): 126-133.
- [13] 陈波见, 曹振东, 付世建. 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.
- Chen B J, Cao Z D and Fu S J. Temperature effect on rest metabolic rate and hypoxia tolerance in Chinese Bream *Parabramis pekinensis* [J]. Chinese Journal of Zoology, 2010, 45(5): 1-8.
- [14] 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 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2003, 28(4): 618-621.
- Chen J Y, Cao Z D, Xie X J. Effect of temperature on resting metabolic rate of *Pelteobagrus vachelli* (Richardson) [J]. Journal of Southwest Normal University: Natural Science Edition, 2003, 28(4): 618-621.
- [15] 陈娟, 谢小军. 体质量及温度对大鳍鲃代谢的影响 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2006, 31(4): 138-142.
- Chen J, Xie X J. Effect of body size and temperature on the metabolism of bagrid catfish, *Mystus macropterus* [J]. Journal of Southwest Normal University: Natural Science Edition, 2006, 31(4): 138-142.
- [16] Jobling M. Fish Bioenergetics [M]. London: Chapman & Hall, 1994.
- [17] 王刚, 李加儿, 区又君. 环境因子对卵形鲳鲹幼鱼耗氧率和排氨率的影响 [J]. 动物学杂志, 2011, 46(6): 80-87.
- Wang G, Li J R, Qu Y J. Influence of environmental factors on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile *Trachinotus ovatus* [J]. Chinese Journal of Zoology, 2011, 46(6): 80-87.
- [18] 唐道军, 徐善良, 马斌. 温度对黑鲷幼鱼耗氧率和排氨率的影响 [J]. 动物学杂志, 2013, 48(2): 256-260.
- Tang D J, Xu S L, Ma B. Influence of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile *Girella melanichthys* [J]. Chinese Journal of Zoology, 2013, 48(2): 256-260.
- [19] Santoro M M. Zebrafish as a model to explore cell metabolism [J]. Trends in Endocrinology & Metabolism, 2014, 25(10): 546-554.
- [20] Bagatto B, Pelster B, Burggren W W. Growth and metabolism of larval zebrafish: effects of swim training [J]. The Journal of Experimental Biology, 2001, 204(24): 4335-4343.
- [21] Lucas J, Schouman A, Lyphout L, et al. Allometric relationship between body mass and aerobic metabolism in zebrafish *Danio rerio* [J]. Journal of Fish Biology, 2014, 84(4): 1171-1178.
- [22] Barrionuevo W R, Burggren W W. O₂ consumption and heart rate in developing zebrafish (*Danio rerio*): influence of temperature and ambient O₂ [J]. American Journal of Physiology, 1999, 276(2): R505-R513.
- [23] Saszik S, Bilotta J. The effects of temperature on the dark-adapted spectral sensitivity function of the adult zebrafish [J]. Vision Research, 1999, 39(6): 1051-1058.
- [24] Uchida D, Yamashita M, Kitano T, et al. An aromatase inhibitor or high water temperature induces oocyte apoptosis and depletion of P450 aromatase activity in the gonads of genetic female zebrafish during sex-reversal [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A, 2004, 137(1): 11-20.
- [25] Verdouw H, van Ecteld C J A, Dekkers E M J. Ammonia determination based on indophenol formation with sodium salicylate [J]. Water Research, 1978, 12(6): 399-402.
- [26] Matthews M, Trevarrow B. A virtual tour of the guide for zebrafish users [J]. Lab Animal, 2002, 31(3): 34-40.
- [27] Cheryl C C, Beiting T L. Temperature tolerances of wild type and red transgenic zebra danios [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 2005, 134(6): 1431-1437.
- [28] Renae L M, Sajadi H, Abraham J, et al. The effects of temperature reduction on gene expression and oxidative stress in skeletal muscle from adult zebrafish [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, Part C, 2004, 138(3): 363-373.
- [29] 杨晗, 曹振东, 付世建. 繁殖Ⅲ期不同性别鲫鱼 (*Carassius auratus*) 的运动能力及能量代谢的比较 [J]. 生态学杂志, 2012, 31(10): 2606-2612.
- Yang H, Cao Z D, Fu S J. Swimming performance and energy metabolism of male and female crucian carps (*Carassius auratus*) during their Ⅲ reproduction phase [J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(10): 2606-2612.
- [30] 韩京成, 曹婷婷, 刘国勇. 温度和流速对齐口裂腹鱼幼鱼呼吸代谢的影响 [J]. 武汉大学学报: 理学版, 2010, 56(1): 81-86.
- Han J C, Cao T T, Liu G Y. Effects of temperature and flow velocity on the respiratory metabolism of *Schizothorax prenanti* juveniles [J]. Journal of Wuhan University: Natural Science Edition, 2010, 56(1): 81-86.
- [31] Zeng L Q, Zhang Y, Cao Z D, et al. Effect of temperature on excess post-exercise oxygen consumption in juvenile

- southern catfish (*Silurus meridionalis*) following exhaustive exercise[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2010, 36(4):1243-1252.
- [32] Luo Y P, Wang Q Q. Effects of body mass and temperature on routine metabolic rate of juvenile largemouth bronze gudgeon *Coreius guichenoti*[J]. *Journal of Fish Biology*, 2012, 80(4):842-851.
- [33] 张兆琪, 张美昭, 李吉清. 牙鲆耗氧率、氮排泄率与体质量及温度的关系[J]. *青岛海洋大学学报*, 1997, 27(4):483-489.
- Zhang Z Q, Zhang M Z, Li J Q. Oxygen consumption and nitrogen excretion of *Paralichthys olivaceus* with different body weights at different water temperature[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1997, 27(4):483-489.
- [34] Gelineu A, Medale F, Boujard T. Effect of feeding time on postprandial nitrogen excretion and energy expenditure in rainbow trout[J]. *Journal of Fish Biology*, 1998, 52(4):655-664.
- [35] 杨培民, 刘刚, 张涛. 鲢幼鱼耗氧率与氨氮排泄率的初步研究[J]. *大连水产学院学报*, 2009, 24(5):470-474.
- Yang P M, Liu G, Zhang T. Oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile oriental sheatfish *Silurus asotus* [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2009, 24(5):470-474.
- [36] 王刚, 李加儿, 区又君. 卵形鲳鲹幼鱼耗氧率和排氨率的初步研究[J]. *动物学杂志*, 2010, 45(3):116-121.
- Wang G, Li J R, Qu Y J. Oxygen consumption and ammonia excretion of the juvenile *Trachinotus ovatus* [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2010, 45(3):116-121.
- [37] 李利, 江敏, 马允. 温度对吉富罗非鱼呼吸的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2010, 19(6):763-767.
- Li L, Jiang M, Ma Y. Effects of temperature on the respiration of GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2010, 19(6):763-767.
- [38] Kutty M N, Mohamed M P. Metabolic adaptations of mullet *Rhinomugil corsula* (Hamilton) with special reference to energy utilization [J]. *Aquaculture*, 1975, 5(3):253-270.
- [39] Sukumaran N, Kutty M N. Oxygen consumption and ammonia excretion in the catfish *Mystus armatus*, with special reference to swimming speed and ambient oxygen [J]. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences*, 1977, 86(3):195-206.
- [40] Kutty M N. Ammonia quotient in sockeye salmon [J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1978, 35(7):1003-1005.
- [41] Westerfield M. The zebrafish book: a guide for the laboratory use of zebrafish (*Danio rerio*) [M]. Eugene: University of Oregon Press, 1993.

Animal Sciences

Effects of Temperature on Resting Metabolic Rate and Ammonia Excretion Rate of *Danio rerio*

LI Ge, XIE Hang, HE Dingcong, LUO Yiping

(Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development of Ministry of Education, Southwest University Chongqing 400715, China)

Abstract: The resting metabolic rate (RMR) and ammonia excretion rate (AN) of zebrafish (*Danio rerio*) were assessed at 18, 23, 28, and 33 °C. The RMR increased with temperature (T). The relationship between RMR and T was described as $Y_{\text{RMR}} = 21.28e^{0.0903T}$ ($r^2 = 0.562$, $n = 55$, $p < 0.01$). Male fish showed higher sensitivity to T than female fish. AN increased with T ($p < 0.05$). The ammonia quotients (AQ) were 0.34, 0.14, 0.10 and 0.16, respectively. It suggests that the zebrafish can survive within temperature range 13 to 38 °C and has a relatively higher thermal sensitivity. The high protein oxidation could impair survival capacity of zebrafish at low temperature. Whether anaerobic metabolism of zebrafish can be promoted by low temperature need further studies.

Key words: zebrafish (*Danio rerio*); temperature; resting metabolic rate; ammonia excretion rate

(责任编辑 方 兴)