动物科学

DOI:10.11721/cqnuj20160517

体质量对雌雄孔雀鱼静止代谢率的影响*

段 婷，李永利，李 格，谢 航，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:在 25 ℃下测定了 60 尾雌雄各半、不同大小的孔雀鱼(*Poecilia reticulata*)的静止代谢率(Resting metabolic rate)。结果表明:雄性孔雀鱼(体质量范围为 0.16～1.15 g)静止代谢率范围为 0.03～0.37 mg·h^{-1};雌性孔雀鱼(体质量范围为 0.16～2.13 g)静止代谢率的范围为 0.03～0.44 mg·h^{-1}。协方差分析表明,孔雀鱼体质量对静止代谢率有显著影响($p<0.05$),性别对静止代谢率的影响不显著,性别和体质量对静止代谢率的影响无交互作用。孔雀鱼的个体静止代谢率(A)与体质量(M)的关系可表示为:$\ln A=0.858\ln M-0.643$ ($r^2=0.726, n=60, p<0.05$)。结果提示,尽管孔雀鱼发育非常迅速,但代谢尺度指数仍在文献报道范围内,体质量与代谢率的关系并无特殊性;孔雀鱼的特定体质量静止代谢率高于文献报道的其他鱼类,这可能与该鱼世代周期短、进化速度快有关。

关键词:孔雀鱼;体质量;代谢率
中图分类号:Q955　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1672-6693(2016)05-0029-04

代谢耗能是鱼类能量收支的一个重要组分,通常可划分为标准代谢(Standard metabolism)、运动代谢(Activity metabolism)、摄食代谢(Feeding metabolism)等组分。标准代谢是指外温动物在禁食、安静状态下的代谢,是维持基本生理功能的能量需求[1-2]。由于难以完全保持鱼类身体处于绝对标准状态,在实验条件下测得的代谢率是标准代谢率的近似值,称为静止代谢率(Resting metabolic rate,RMR)[3-4]。静止代谢率与鱼类的生理状态、社群地位、生活史对策等有关[5-9]。

体质量是影响鱼类代谢率的重要因子。代谢率(R)随体质量(M)异速增加的关系可以表示为:$R=aM^b$,其中 a 为常数,b 为尺度指数,b 值的大小及变化规律反映了体质量影响代谢率的程度[2]。代谢率随体质量增加的异速增长关系受到大量研究者的长期关注,已有广泛的研究和讨论[10-15]。其中的一种重要理论基于分形几何学原理,对大量物种的代谢率数据进行分析,提出生物体的 b 值存在普适值 0.75[16]。但研究表明,很多鱼类的 b 值并非 0.75[17-23],有关鱼类的代谢率异速问题有待深入研究。

孔雀鱼(*Poecilia reticulata*),属鳉形目(Cyprinodontiformes)、花鳉科(Poeciliidae)、花鳉属(*Poecilia*),是一种繁殖周期短,性成熟快的鱼类,一般在出生后 50～60 d 即可达到性成熟。有关孔雀鱼的研究涉及生态学、进化、遗传学等领域[24-26],而有关该鱼生物能量学方面的研究却鲜有报道。在孔雀鱼快速的发育过程中,代谢率随身体生长的变化可能具有典型的物种特异性。本研究对不同体质量的雌、雄孔雀鱼的静止代谢率进行了测定,初步探讨了体质量对该鱼静止代谢率的影响,旨在为生物能量学研究提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 实验鱼的来源

孔雀鱼购自重庆市北碚区观赏鱼店,选择体表无明显伤害、无畸形的孔雀鱼于循环养殖箱中暂养,养殖水温为(25±1) ℃,溶氧量接近饱和溶氧量[2]。

1.2 实验方法

实验选取不同个体大小的雌、雄孔雀鱼各 30 尾,于流水式呼吸仪中测定代谢率[27]。每个呼吸室放 1 尾鱼,

* **收稿日期**:2016-03-29　**修回日期**:2016-04-20　**网络出版时间**:2016-07-13 14:03
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);重庆市食品药品检验检测研究院项目(No. 2015092)
作者简介:段婷,女,研究方向为鱼类生理生态,E-mail:526533051@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.20160713.1403.032.html

另有 1 个呼吸室不放鱼作为空白,测定前调节呼吸室流速[3]。驯化过夜后,于次日 9:00 开始测定耗氧率。采用溶氧仪(Microx TX3, PreSens-Precision Sensing GmbH Regensburg, Germany)测定溶氧量,并采用 5 mL 容量瓶收集水,以秒表记录历时,计算求得流速[3]。静止代谢率(A,单位:mg·h^{-1})计算方式为:$A=\Delta C_{O_2}\times v$;ΔC_{O_2} 为空白和实验鱼呼吸室溶氧量的差值(mg·h^{-1}),v 为呼吸室中水的流速(L·h^{-1})。

1.3 数据处理方法

数据用"平均值±标准误"表示。采用 Excel 2003 对体质量与代谢率对数化后进行线性回归分析,用 SPSS Statistics 22.0 软件对体质量、性别及两者交互作用对代谢率的影响进行协方差分析,统计显著性水平为 $p<0.05$。

2 结果

本研究中,雌雄孔雀鱼各 30 尾,在 25 ℃下,雄性孔雀鱼的体质量为(0.405±0.047) g,范围为 0.16~1.15 g;个体静止代谢率为(0.11±0.01) mg·h^{-1},范围为 0.03~0.37 mg·h^{-1};特定体质量代谢率为(289.1±16.7) mg·kg^{-1}·h^{-1},范围为 114.8~425.8 mg·kg^{-1}·h^{-1}。雌性孔雀鱼的体质量为(0.475±0.092) g,范围为 0.16~2.13 g;个体静止代谢率为(0.12±0.02) mg·h^{-1},范围为 0.03~0.44 mg·h^{-1};特定体质量代谢率为(264.5±14.5) mg·kg^{-1}·h^{-1},范围为 135.8~407.8 mg·kg^{-1}·h^{-1}。

采用对数直线回归对 25 ℃下雌雄孔雀鱼的个体静止代谢率(A)与体质量(M)的关系进行拟合,雄性、雌性孔雀鱼的有关拟合方程如图 1 中所示。协方差分析表明,体质量对个体静止代谢率有显著影响($p<0.05$),但性别对个体静止代谢率的影响不显著,性别和体质量对个体静止代谢率也无交互作用,因此将雌鱼和雄鱼作为同一抽样进行回归分析,得到图 1 中所示的拟合方程。

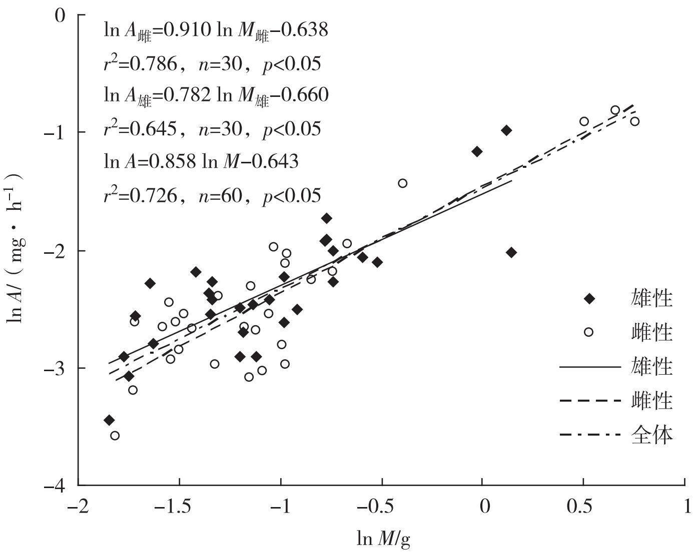

图 1 雌雄孔雀鱼体质量与静止代谢率的关系

Fig. 1 Relationships between body masses and resting metabolic rates of *P. reticulata*

3 讨论

随体质量增加,鱼类的个体代谢率增高[4,28-30]。本实验中,雌雄孔雀鱼的个体代谢率均随体质量的增大而增高,二者间呈异速幂函数关系,与已有的研究结果一致。Jobling 总结多数鱼类的 b 值在 0.67~1.00 之间[31],雌雄孔雀鱼的 b 值分别为 0.910 和 0.782,共同的 b 值为 0.858,均在文献报道的 b 值范围内。结果表明,尽管孔雀鱼发育非常迅速,但它的代谢率与体质量的关系并无明显的特殊性。

鱼的代谢水平会因性腺发育状况而变化[32],代谢率的高低与性腺发育阶段有关[33]。本研究中,孔雀鱼的性别对代谢率无明显影响,可能归因于雌性个体性腺发育程度不高。雌性孔雀鱼成熟的标志是臀鳍上前方的腹部出现黑色胎斑[34],腹部膨大[35]。本研究中的孔雀鱼尽管已经性成熟,但雌鱼腹部却没有膨大,反映了雌鱼较低的性腺发育程度。

采用文献报道的代谢率模型,分别计算出 25 ℃下 1 g 南方鲇(*Silurus meridionalis*)、鲇(*Silurus asotus*)、大鳍鳠(*Mystus macropterus*)和圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)特定体质量静止代谢率分别为 50.1[4],63.9[36],96.7[37]和 96.5 mg·kg^{-1}·h^{-1}[30]。在上述鱼类中,圆口铜鱼高于文献报道的多数物种[30]。本研究中,根据方程求得 1 g 孔雀鱼的特定体质量静止代谢率为 227.3 mg·kg^{-1}·h^{-1},远高于上述所有鱼类。孔雀鱼世代周期短,寿命只有 1~2 年[35],进化速度极快[38-39],可能与它的高代谢率有关,相关机制值得进一步研究讨论。

参考文献:

[1] 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(4):141-149.

Xie X J，Sun R Y. New perspective of the studies on several important ecological factors influencing metabolism of fishes[J]. Journal of Southwest China Normal University：Natural Science Edition，1989(4)：141-149.

[2] 王文. 体重对圆口铜鱼代谢能力的影响[D]. 重庆：西南大学，2013.

Wang W. Effects of body mass on metabolic capacity of *Coreius guichenoti*[D]. Chongqing：Southwest University，2013.

[3] 李格，谢航，何定聪，等. 温度对斑马鱼静止代谢率和氨氮排泄率的影响[J]. 重庆师范大学学报：自然科学版，2015，32(4)：44-48.

Li G，Xie H，He D C，et al. The effect of temperature on the metabolism and ammonia excretion in the zebrafish，*Danio rerio* [J]. Journal of Chongqing Normal University：Natural Science，2015，32(4)：44-48.

[4] 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.

[5] McNab B K. Food habits，energetics，and population biology of mammals[J]. The American Naturalist，1980，116(1)：106-124.

[6] McNab B K. The influence of food habits on the energetics of eutherian mammals[M]. Ecological Monographs，1986，56(1)：1-19.

[7] Metcalfe N B，Wright R J，Thorpe J E. Relationships between social status，otolith size at first feeding and subsequent growth in Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J]. Journal of Animal Ecology，1992，61(3)：585-589.

[8] Metcalfe N B，Taylor A C，Thorpe J E. Metabolic rate，social status and life-history strategies in Atlantic salmon[J]. Animal Behaviour，2010，49(2)：431-436.

[9] Cutts C J，Metcalfe N B，Taylor A C. Aggression and growth depression in juvenile Atlantic salmon：the consequences of individual variation in standard metabolic rate [J]. Journal of Fish Biology，2005，52(5)：1026-1037.

[10] Oikawa S and Itazawa Y. Relative growth of organs and parts of the carp，*Cyprinus carpio*，with special reference to the metabolism-size relationship[J]. Copeia，1984(3)：800-803.

[11] Kozlowski J，Konarzewski M，Gawelczyk A T. Cell size as a link between noncoding DNA and metabolic rate scaling [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America，2003，100(24)：14080-14085.

[12] Agutter P S，Wheatley D N. Metabolic scaling：consensus or controversy? [J]. Theoretical Biology and Medical Modelling，2004，1(1)：1-11.

[13] Glazier D S. A unifying explanation for diverse metabolic scaling in animals and plants [J]. Biological Reviews，2010，85(1)：111-138.

[14] Kooijman S A L M. Dynamic energy budget theory for metabolic organisation[M]. Cambridge：Cambridge University Press，2010.

[15] Agutter P S，Tuszynski J A. Analytic theories of allometric scaling[J]. The Journal of Experimental Biology，2011，214(7)：1055-1062.

[16] West C B，Brown J H，Enquist B J. A general model for the origin of allometric scaling laws in biology[J]. Science，1997，276(5309)：122-126.

[17] Bokma F. Evidence against universal metabolic allometry [J]. Functional Ecology，2004，18(2)：184-187.

[18] Killen S S，Costa I，Brown J A，et al. Little left in the tank：metabolic scaling in marine teleosts and its implications for aerobic scope[J]. Proceedings of the Royal Society，2007，274(1608)：431-438.

[19] White C R，Cassey P，Blackburn T M. Allometric exponents do not support a universal metabolic allometry[J]. Ecology，2007，88(2)：315-323.

[20] Huang Q D，Zhang Y R，Liu S T，et al. Intraspecific scaling of the resting and maximum metabolic rates of the crucian carp (*Carassius auratus*)[J]. Plos One，2013，8(12)：e82837.

[21] Zhang Y R，Huang Q D，Liu S T，et al. Intraspecific mass scaling of metabolic rates in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. Journal of Comparative Physiology B-Biochemical Systemic and Environmental Physiology，2014，184(3)：347-354.

[22] Luo Y P，He D C，Li G，et al. Intraspecific metabolic scaling exponent depends on red blood cell size in fishes[J]. The Journal of Experimental Biology，2015，218(10)：1496-1503.

[23] Li G，Xie H，He D C，et al. Effects of body chemical components on the allometric scaling of the resting metabolic rate in four species of cyprinids[J]. Fish Physiology and Biochemistry，2016，42(1)：295-301.

[24] Aich A，Chattopadhyay B，Datta，S，et al. Impact of composite tannery effluent on the amino-transferase activities in a fish biosystem，using guppy fish (*Poecilia reticulata*) as an experimental model[J]. Toxicological and Environmental Chemistry，2011，93(1)：85-91.

[25] 房英春，齐跃，李莹，等. 盐酸环丙沙星、恩诺沙星和诺氟沙星对孔雀鱼急性毒性实验研究[J]. 沈阳大学学报：自然科学版，2012，24(3)：15-17.

Fang Y C，Qi Y，Li Y，et a1. Acute toxicity experience to guppy with ciprofloxacin HCl，enrofloxacin and norfloxacin[J]. Journal of Shenyang University：Natureal Science，2012，24(3)：15-17.

[26] Bassar R D，Ferrlere R，Lopezsepulcre A，et al. Direct and indirect ecosystem effects of evolutionary adaptation in the

trinidadian guppy (*Poecilia reticulata*)[J]. The American Naturalist,2012,180(2):167-185.

[27] Luo Y P,Xie X J. Specific dynamic action in two body size groups of the southern catfish (*Silurus meridionalis*) fed diets differing in carbohydrate and lipid contents[J]. Fish Physiology and Biochemistry,2009,34(4):465-471.

[28] Zeuthen E. Oxygen uptake as related to body size in organisms[J]. The Quarterly Review of Biology,1953,28:1-12.

[29] 曹振东,彭姜岚,付世建.体重对大鳍鳠力竭性运动后过量耗氧的影响[J].重庆师范大学学报:自然科学版,2009,26(4):17-19.
Cao Z D,Peng J L,Fu S J. Effect of body weight on excess post-exercise oxygen consumption in *Mystus macropterus* [J]. Journal of Chongqing Normal University:Natural Science,2009,26(4):17-19.

[30] 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.

[31] Tytler P,Calow P. Fish energetics:new perspectives[M]. Baltimore:Johns Hopkins University,1985:213-230.

[32] Beamish F W H,Trippel E A. Heat increment:a static or dynamic dimension bioenergetic models? [J]. Transactions of the American Fisheries Society,1990,119(4):649-661.

[33] Evans D O. Temperature independence of the annual cycle of standard metabolism in the pumpkinseed[J]. Transactions of the American Fisheries Society,1984,113(4):494-512.

[34] 潘璠,周凤建,唐兰萍,等."观赏第一鱼"—孔雀鱼的养殖[J].北京水产,2006(5):58-59.
Pang P, Zhou F J, Tang L P, et al. "First ornamental fish"—guppy farming[J]. Journal of Beijing Fisheries, 2006(5):58-59.

[35] 张宇.孔雀鱼的饲养及繁殖[J].特种经济动植物,2008,11(7):25-27.
Zhang Y. Feeding and breeding guppies[J]. Special Economic Animal and Plant,2008,11(7):25-27.

[36] 杨振才,谢小军,孙儒泳.鲇鱼的静止代谢及其与体重、温度和性别的关系[J].水生生物学报,1995,19(4):368-372.
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,1995,19(4):368-372.

[37] 陈娟,谢小军.体质量及温度对大鳍鳠代谢的影响[J].西南大学学报: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 University:Natural Science,2006,31(4):138-142.

[38] Reznick D N,Shaw F H,Rodd F H,et al. Evaluation of the rate of evolution in natural populations of guppies (*Poecilia reticulata*)[J]. Science,1997,275(530):1934-1937.

[39] Ghalambor C K,Hoke K L,Ruell E W,et al. Non-adaptive plasticity potentiates rapid adaptive evolution of gene expression in nature[J]. Nature,2015,525(7569):372.

Animal Sciences

Effect of Body Mass on the Resting Metabolic Rate of Male and Female Guppy, *Poecilia reticulata*

DUAN Ting, LI Yongli, LI Ge, XIE Hang, LUO Yiping

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

Abstract: The resting metabolic rate (RMR) of 60 guppies (*Poecilia reticulata*) individuals with different body mass were measured at 25 ℃. The results showed that the RMR of males (body size rang 0.16 to 1.15 g) and females (body size rang 0.16 to 2.13 g) were 0.03 to 0.37 mg • h^{-1} and 0.03 to 0.44 mg • h^{-1}, respectively. The RMR was significantly influenced by body mass ($p<0.05$), rather than by neither gender nor the interaction effect between body mass and gender. The equation of the relationship between the individual RMR (A) and body mass (M) was $\ln A=0.858\ln M-0.643$ ($r^2=0.726$, $n=60$, $p<0.05$). The results suggest that although guppy grows very rapidly, its scaling exponent is within the range reported by the previous literatures, without special relationship between M and A. The guppy has higher mass-specific metabolic rates than those of other fish reported in the literatures, which may be related with its short generation cycle and rapid evolution.

Key words: guppy; body mass; metabolic rate

(责任编辑 方 兴)