动物科学

DOI:10.11721/cqnuj20210414

大宁河两种小型鱼类个体和器官代谢率的比较*

朱晓玲，李　倩，朱艳秋，熊　惟，张　盼，胥　愿，罗毅平
(西南大学 生命科学学院 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室，重庆 400715)

摘要:【目的】考察三峡库区两种小型鲤科(Cyprinidae)鱼类的个体和器官代谢率。【方法】对大宁河水域分布的红尾副鳅(*Paracobitis variegatus*)和云南盘鮈(*Discogobio yunnanensis*)的体质量、器官质量、个体代谢率和器官代谢率进行测定和比较。【结果】在校正体质量后，红尾副鳅在个体静止代谢率、心质量、嗅球质量和肝代谢率方面均低于云南盘鮈，且差异都具有统计学意义($p<0.05$)；但红尾副鳅的脑代谢率与云南盘鮈的脑代谢率相比有统计学意义上的升高($p<0.05$)。【结论】红尾副鳅具有中高代谢水平，云南盘鮈具有极高代谢水平，两种鱼类代谢水平的差异可能与它们食性及身体器官的差异有关。

关键词:个体静止代谢率；器官代谢率；鲤科鱼类
中图分类号:Q175　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1672-6693(2021)04-0030-06

大宁河古名昌江，是长江三峡段第一大支流，向南流经巫溪县城，于巫山县城东注入长江[1-2]。大宁河流域地貌特殊，生态环境复杂，鱼类资源丰富[3]，其中鲤形目(Cyprinformes)鱼类种类最多[4-5]。前人对大宁河鱼类的研究主要集中在生物多样性、年龄与生长、生物学性状、系统发育、繁殖生物学等方面[6-9]，但有关大宁河鱼类的能量代谢的研究资料尚比较缺乏。鱼类的能量代谢是鱼类生理生态学研究的一项重要内容，在评估鱼类个体、种群、群落等各层次的耗能状况和探讨能量在食物链的流动规律方面有着重要意义[10]。研究表明，近些年来大宁河鱼类群落有明显的小型化现象，小型鱼类在群落中的比例增大[5]。这提示小型鱼类的能量代谢对大宁河鱼类生态系统的能流的贡献可能趋于增大。鱼类群落发生小型化的原因之一是能量供给与需求的失衡[11-12]，高代谢水平可能是导致很多物种体型较小的重要原因[13]。最近有研究报道，因气候及水体流态的变化，三峡库区水体整体温度明显升高[14]，这可能加剧鱼类的能量供需失衡。因此，对小型鱼类开展能量代谢的研究不仅有助于加深对鱼类体型形成机制的理解，也可为预测环境变化导致的鱼类生理生态变化提供基础资料。

红尾副鳅(*Paracobitis variegatus*)地方名为红尾子、红尾杆鳅，隶属于鲤形目鳅科(Cobitidae)条鳅亚科(Nemacheilinae)副鳅属(*Pracobitis*)，营底栖生活，以水生无脊椎动物为食；云南盘鮈(*Discogobio yunnanensis*)地方名为油桐子、油桐鱼，隶属于鲤形目鲤科(Cyprinidae)野鲮亚科(Labeoninae)盘鮈属(*Discogobio*)，为底栖性鱼类，以低等藻类为食[15]。上述两种小型鱼类为大宁河水域分布较广的鱼类。目前关于大宁河红尾副鳅的研究主要集中在年龄与生长[6]、生物学性状[7]、线粒体基因组[16]、肌肉营养成分分析[17]等方面，关于云南盘鮈的研究主要集中在系统发育[8]、肌肉成分分析[18-19]、线粒体基因组分析[20]、繁殖生物学[9]等方面。本研究以上述两种鱼为研究对象，测定了它们的个体及主要活性器官的能量代谢水平，并对其中差异进行了分析和讨论，希望为三峡库区小型鱼类的生理生态学研究提供新的基础性资料。

1 材料和方法

1.1 实验鱼的来源

红尾副鳅与云南盘鮈均采自重庆市巫溪县大宁河。实验鱼被带回实验室后，放入循环养殖系统中，适应 3 d

* **收稿日期**:2021-01-19　**网络出版时间**:2021-07-01　09:45
资助项目:国家自然科学基金(No. 32070438)
第一作者简介:朱晓玲，女，研究方向为鱼类生理生态学，E-mail:zhuxiaoling@email.swu.edu.cn；**通信作者**:罗毅平，男，研究员，博士，E-mail:luoguo@swu.edu.cn
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20210630.1319.018.html

后，分别以赤虫（*Quistadrilus multisetosus*）和商业饲料为饵料，每日不定时地对实验鱼进行饱足投喂，驯化 25 d。循环养殖系统水体的水温控制在（15±1）℃，用充气泵持续向水中泵入空气以确保溶氧量不低于 7 mg·L^{-1}，光照周期为 12 h 光照∶12 h 黑暗。

1.2 个体代谢率的测定

驯化结束后，将实验鱼禁食 48 h，测定体质量后转入流水式呼吸仪的呼吸室内适应 12 h，以测定个体代谢率[21]。通过计时收集呼吸室出水口的流水测定流速，采用德国 PreSens 公司出品的 Mircrox TX3 型溶氧仪测定出水口处的溶氧量，实验鱼的个体耗氧率计算公式如下：

$$M_{O_2}=C_{O_2}\times v。$$

式中：M_{O_2}为实验鱼的个体耗氧率（单位：mg·h^{-1}），C_{O_2}为空白对照组与实验组的溶氧量差值（单位：mg·L^{-1}），v为相应实验鱼呼吸室出水口的水流速率（单位：L·h^{-1}）。耗氧率测定从 8∶00 开始，1 h 测 1 次，共测定 10 h，以最低的 3 个耗氧率的平均值作为个体静止代谢率。

1.3 器官代谢率的测定

器官代谢率的测定方法参照文献[21-22]。个体代谢率的测定工作完成后，将实验鱼放入麻醉剂溶液（含 0.45 g·L^{-1}的 MS-222 和 0.9 g·L^{-1}的 $NaHCO_3$）中进行麻醉处理，依次分离肝、心、脑、眼、嗅球等器官，并放入装有冰冷缓冲液（含 7.486 2 g·L^{-1}的 NaCl、0.186 4 g·L^{-1}的 KCl、0.199 8 g·L^{-1}的 $CaCl_2$、1.865 0 g·L^{-1}的 $NaHCO_3$、1.981 7 g·L^{-1}的 $C_6H_{12}O_6\cdot H_2O$、2.383 1 g·L^{-1}的 Hepes、0.203 3 g·L^{-1}的 $MgCl_2\cdot 6H_2O$，pH 为 7.4）的离心管中测定器官质量。将待测器官置于 15 ℃水浴中预温 10 min，然后放入密闭的呼吸室中，并保证无气泡，用与溶氧测定系统相连接的光纤传感器测定溶氧量变化，在测定程序中设定为 1 s 记录 1 次溶氧量。在对肝、心、脑、眼等器官的测定中，连续记录 15 min，取最后 5 min 的数据来计算器官的耗氧率；在对嗅球的测定中，连续记录 30 min，取最后 10 min 的数据计算器官的耗氧率。器官耗氧率的计算公式如下：

$$M_{O_2\text{器官}}=(S_{O_2\text{样品}}-S_{O_2\text{空白}})\times V。$$

式中：$M_{O_2\text{器官}}$是实验鱼的器官耗氧率（单位：mg·h^{-1}），$S_{O_2\text{样品}}$和 $S_{O_2\text{空白}}$分别为样品和空白对照的含氧量变化斜率（单位：mg·L^{-1}·h^{-1}），V为反应的组织缓冲液的体积（单位：L）。以各器官的耗氧率作为各器官的总代谢率，然后除以各器官的质量就得到各器官的特定代谢率（单位：mg·g^{-1}·h^{-1}）。由于器官的总代谢率数值很小，在结果中单位改用 μg·h^{-1}表示。

1.4 数据处理与统计分析

所得数据采用 Excel 2010 软件进行常规计算后，转换为以 10 为底的对数，采用 SPSS 23.0 软件进行统计分析。分别以体质量及器官质量为协变量比较物种间的差异，采用一般线性模型单变量进行分析，得到校正协变量影响后的个体静止代谢率、器官质量及各器官总代谢率的平均值和标准误，并以此来计算两种鱼的特定体质量代谢率、器官质量占比（器官质量与体质量的比例）和器官特定代谢率。当 $p<0.05$ 时，统计分析结果具有统计学意义。

2 结果

2.1 个体静止代谢率

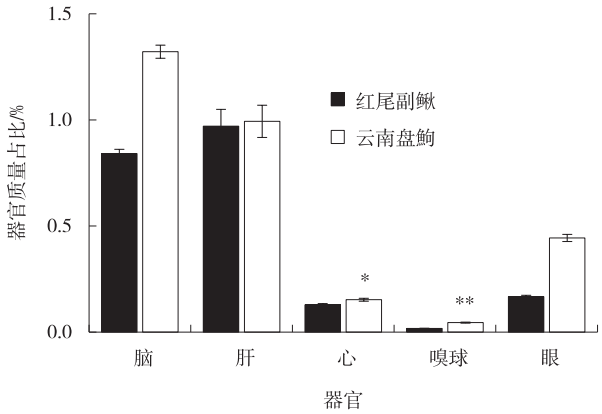
本研究中，红尾副鳅和云南盘鮈的体质量范围分别为 2.44～3.64 g（$n=11$）和 1.70～4.83 g（$n=12$）；两者体长范围分别为 7.00～8.45 cm 和 5.05～6.95 cm。经测量和计算，红尾副鳅和云南盘鮈的个体静止代谢率范围分别为 0.209～0.408 mg·h^{-1}和 0.231～0.717 mg·h^{-1}。以体质量为协变量分析发现，云南盘鮈的个体静止代谢率比红尾副鳅的该指标更高，且差异具有统计学意义（$F=23.210$，$p<0.001$）。经校正得到平均体质量为 3.146 g 后，红尾副鳅和云南盘鮈的特定体质量代谢率分别为 100.04（95%置信区间为[91.870，108.936]）和 131.57 mg·h^{-1}·kg^{-1}（95%置信区间为[121.387，142.946]）。

2.2 器官质量及代谢率

研究结果显示：红尾副鳅和云南盘鮈的脑质量范围分别为 23.4～31.3 mg 和 27.44～56.2 mg，肝质量范围分别为 22.5～45.3 mg 和 13.3～61.3 mg，心质量范围分别为 2.5～5.5 mg 和 2.5～8.3 mg，嗅球质量范围分别

为0.39～0.72 mg和0.97～1.91 mg,眼质量范围分别为4.0～6.8 mg和9.4～18.4 mg。以体质量为协变量分析发现,红尾副鳅和云南盘鮈的脑质量($F=0.163$,$p=0.691$)、肝质量($F=0.053$,$p=0.821$)和眼质量($F=1.007$,$p=0.328$)在种间无统计学意义上的差异。当物种和体质量作为变量时,两者交互作用对脑质量($F=7.566$,$p=0.013$)和眼质量($F=16.606$,$p=0.001$)均有统计学意义上的影响。云南盘鮈的心质量($F=7.217$,$p=0.014$)和嗅球质量($F=184.388$,$p<0.001$)均比红尾副鳅的这两个器官质量更大,差异具有统计学意义。以校正后的平均体质量3.146 g为准,可得红尾副鳅和云南盘鮈脑质量占比分别为0.84%和1.32%,肝质量占比分别为0.97%和0.99%,心质量占比分别为0.13%和0.15%,嗅球质量占比分别为0.02%和0.04%,眼质量占比分别为0.17%和0.44%(图1)。

经计算可知,红尾副鳅和云南盘鮈的脑代谢率范围分别为2.5～10.1 $\mu g \cdot h^{-1}$和1.6～10.0 $\mu g \cdot h^{-1}$,肝代谢率范围分别为2.7～7.5 $\mu g \cdot h^{-1}$和2.4～13.3 $\mu g \cdot h^{-1}$,心代谢率范围分别为1.1～2.9 $\mu g \cdot h^{-1}$和0.9～4.1 $\mu g \cdot h^{-1}$,嗅球代谢率范围分别为0.2～0.4 $\mu g \cdot h^{-1}$和0.2～0.8 $\mu g \cdot h^{-1}$,眼代谢率范围分别为0.3～3.3 $\mu g \cdot h^{-1}$和1.0～3.7 $\mu g \cdot h^{-1}$。以器官质量为协变量分析发现:在脑代谢率方面,红尾副鳅高于云南盘鮈,且差异具有统计学意义($F=7.165$,$p=0.014$);云南盘鮈的肝代谢率高于红尾副鳅的肝代谢率,差异具有统计学意义($F=5.102$,$p=0.036$);心代谢率($F=0.197$,$p=0.662$)、嗅球代谢率($F=0.600$,$p=0.448$)和眼代谢率($F=3.557$,$p=0.074$)在种间无统计学意义上的差异。将脑、肝、心、嗅球及眼的质量分别校正得到各自的平均值0.034,0.031,0.004,0.000 9及0.009 g后,红尾副鳅和云南盘鮈脑的特定代谢率分别为0.217和0.115 $mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$,肝的特定代谢率分别为0.140和0.185 $mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$,心的特定代谢率分别为0.459和0.429 $mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$,嗅球的特定代谢率分别为0.345和0.447 $mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$,眼的特定代谢率分别为0.357和0.101 $mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$(图2)。



注:*,**分别表示两种鱼类某一指标的差异分别在$p<0.05$和$p<0.001$水平上有统计学意义,下同

图1　红尾副鳅和云南盘鮈器官质量占比的比较

Fig. 1　The comparison of percentage of organ mass to body mass between *P. variegatus* and *D. yunnanensis*

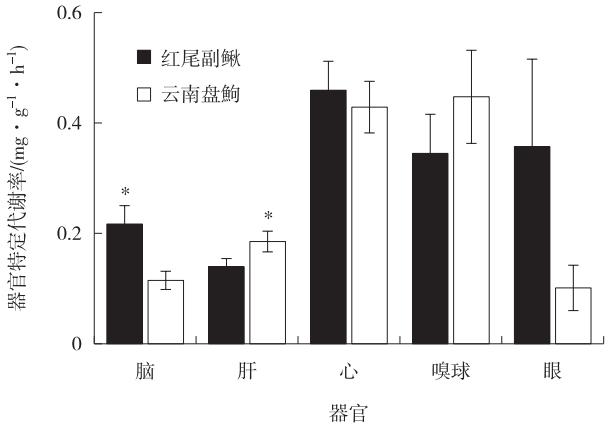


图2　红尾副鳅和与云南盘鮈器官特定代谢率的比较

Fig. 2　The comparison of organ specific metabolic rate between *P. variegatus* and *D. yunnanensis*

3 讨论

研究表明,代谢水平的高低是影响物种的体型大小原因之一,代谢水平较高的物种体型可能较小[13]。本研究中,在校正到平均体质量后,红尾副鳅和云南盘鮈的个体静止代谢率分别为0.315(95%置信区间为[0.289,0.343])和0.414 $mg \cdot h^{-1}$(95%置信区间为[0.382,0.450])。前人曾归纳了92种硬骨鱼类的代谢率,并得到了静止代谢率与温度和体质量的回归方程[23],将本研究中的温度(15 ℃)和平均体质量(3.146 g)代入方程,预测到硬骨鱼的静止代谢率为0.252 $mg \cdot h^{-1}$。这一数值显示:红尾副鳅和云南盘鮈的静止代谢率高于多数鱼类静止代谢率的一般水平,也高于在相同条件下测得的体型较大鱼类——鲫(*Carassius auratus*)的静止代谢率(0.252 $mg \cdot h^{-1}$)[24]。此外,对相近水域的另一种小体型鱼类即贝氏高原鳅(*Triplophysa bleekeri*)的研究也发现此种鱼类代谢水平较高(0.357 $mg \cdot h^{-1}$)[25]。这些结果都提示了小体型鱼类的代谢水平相对较高。

小体型鱼类的代谢水平较高这一规律也可能受其他因素影响。与长江中上游分布的中大型鱼类圆口铜鱼

(*Coreius guichenoti*)的静止代谢率(0.397 mg·h^{-1})[26]相比，云南盘鮈的静止代谢率显得略高，而红尾副鳅的静止代谢率则明显偏低。有研究显示，圆口铜鱼因洄游习性和特殊身体组分，它的代谢率远比同水域其他鱼类的代谢率更高[26]。由此可见，云南盘鮈的静止代谢率极高，而红尾副鳅只具有中高水平的静止代谢率。两物种间的代谢水平的差异可能与它们的食性差异有关。一般而言，肉食性鱼类的代谢率低于草食性、杂食性鱼类[27]。红尾副鳅以水生无脊椎动物为食，属于肉食性鱼类，而云南盘鮈食性较杂，以食低等藻类为主，也食植物碎屑，属于偏植食的杂食性鱼类[15]，因而两种鱼的食性差异与代谢水平差异是相吻合的。

还有研究发现，包括感觉系统在内的神经组织对个体的代谢耗能有明显贡献[28-32]，在安静状态下脑的代谢率远比其他器官的代谢率更高[33]。本研究中，红尾副鳅在静止代谢率方面低于云南盘鮈，而在脑代谢率方面高于云南盘鮈，说明脑代谢水平较高物种的个体静止代谢率未必较高。动物体活性器官的相对大小会影响个体代谢水平[34]，红尾副鳅的与云南盘鮈的脑质量有差异，但由于存在物种和体质量间的交互作用，故差异在物种间无统计学意义。此外，虽然红尾副鳅和云南盘鮈心和嗅球的代谢水平在种间无统计学意义上的差异，但它们的这两种器官质量的种间差异与个体静止代谢率的种间差异却表现一致，均具有统计学意义。这一结果说明在分析器官对个体代谢耗能贡献时，除了考虑脑的贡献，也应考虑其他活性器官的贡献。

总之，本研究通过取得大宁河两种小型鱼类代谢水平的基础资料，发现了云南盘鮈具有极高的代谢水平而红尾副鳅具有中高代谢水平，并认为两种鱼类代谢水平的差异可能与它们食性及身体器官的差异有关。

参考文献：

[1] 王杰，王保番，罗正齐. 长江大辞典[M]. 武汉：武汉出版社，1997：39-40.
WANG J，WANG B F，LUO Z Q. Changjiang dictionary[M]. Wuhan：Wuhan Publishing House，1997：39-40.

[2] 刘瑞民，沈珍瑶. 大宁河流域生态环境综合评价及其演变[J]. 北京师范大学学报(自然科学版)，2006，42(6)：200-203.
LIU R M，SHEN Z Y. Integrated assessment and changes of ecological environment in Daning river watershed[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science)，2006，42(6)：200-203.

[3] 丁瑞华. 重庆大宁河鱼类资源调查研究[C]//四川省动物学会第九届会员代表大会暨第十届学术研讨会论文集. 成都：四川省动物学会，2011：6.
DING R H. Investigation on fish resources of Daning river in Chongqing[C]//Proceedings of the 9th Congress of Sichuan Zoological Society and the 10th Symposium. Chengdu：Sichuan Zoological Society，2011：6.

[4] 耿相昌. 大宁河鱼类资源现状及云南盘鮈生物学初步研究[D]. 重庆：西南大学，2010.
GENG X C. The resources of Daning river and preliminary study on the biology of *Discogobio yunnanensis*[D]. Chongqing：Southwest University，2010.

[5] 杨峰，姚维志，邓华堂，等. 三峡库区蓄水后大宁河鱼类资源现状研究[J]. 淡水渔业，2013，43(4)：51-57.
YANG F，YAO W Z，DENG H T，et al. The current situation of fish resources in the Daning river after the impoundment of the Three Gorges reservoir[J]. Freshwater Fisheries，2013，43(4)：51-57.

[6] 郭志强，刘绍平，段辛斌，等. 大宁河红尾副鳅年龄与生长的研究[J]. 淡水渔业，2008，38(6)：14-18.
GUO Z Q，LIU S P，DUAN X B，et al. The age and growth of *Paracobitis variegates* in Daning river[J]. Freshwater Fisheries，2008，38(6)：14-18.

[7] 唐勇，张红，杨兵，等. 红尾副鳅的生物学性状及人工驯养研究[J]. 安徽农业科学，2012，40(22)：11296-11298.
TANG Y，ZHANG H，YANG B，et al. Study on the biological characters and artificial domestication of *Paracobitis variegatus*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences，2012，40(22)：11296-11298.

[8] 郑兰平. 鲤科盘鮈属(*Discogobio*)鱼类的系统发育及地理分布格局研究[D]. 昆明：西南林学院，2007.
ZHENG L P. The phylogeny and geographical distribution pattern of *Discogobio* of Cyprinidae[D]. Kunming：Southwest Forestry College，2007.

[9] 赵健蓉. 云南盘鮈繁殖生物学研究[D]. 重庆：西南大学，2018.
ZHAO J R. Study on reproductive biology of *Discogobio yunnanensis*[D]. Chongqing：Southwest University，2018.

[10] WARREN C E，DAVIS G E. Laboratory studies on the feeding，bioenergetics and growth of fish[M]//GERKING S D. The biological basis of fresh water fish production. Oxford：Blackwell Scientific Publication，1967：175-214.

[11] MEYER K A,SCHILL D J. The gill-oxygen limitation theory and size at maturity/maximum size relationships for salmonid populations occupying flowing waters[J]. Journal of Fish Biology,2020,98(1):44-49.

[12] RUBALCABA J G, VERBERK W C E P, HENDRIKS A J, et al. Oxygen limitation may affect the temperature and size dependence of metabolism in aquatic ectotherms[J]. Proceedings of the National Academy of Science,2020,117(50):31963-31968.

[13] KOZŁOWSKI J,KONARZEWSKI M,CZARNOLESKI M. Coevolution of body size and metabolic rate invertebrates:a life-history perspective[J]. Biological Reviews,2020,95:1393-1417.

[14] HE T F,DENG Y,TUO Y C,et al. Impact of the dam construction on the downstream thermal conditions of the Yangtze river [EB/OL]. (2020-04-24)[2021-01-19]. https://www.mdpi.com/1660-4601/17/8/2973/htm.

[15] 丁瑞华. 四川鱼类志[M]. 成都:四川科学技术出版社,1994:360-362.
DING R H. Ichthyology of Sichuan[M]. Chengdu:Sichuan Science and Technology Press,1994:360-362.

[16] 史妍茹,邢连喜,陈涛,等. 红尾副鳅线粒体基因组序列测定与分析[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版),2014,42(4):50-56.
SHI Y R,XING L X,CHEN T,et al. Sequencing and analysis of the complete mitochondrial genome of *Paracobitis variegatus* [J]. Journal of Shaanxi Normal University(Natural Science Edition),2014,42(4):50-56.

[17] 周先坤,朱重洋,何海波,等. 红尾副鳅肌肉营养成分分析和安全性评价[J]. 淡水渔业,2018,48(2):87-93.
ZHOU X K,ZHU C Y,HE H B,et al. Analysis of nutritional components and safety evaluation for the muscles of *Paracobitis variegatus*[J]. Freshwater Fisheries,2018,48(2):87-93.

[18] 蒲德成. 2种大宁河土著鱼肌肉常规营养成分的比较分析[J]. 安徽农业科学,2014,42(31):10987-10988.
PU D C. Comparative analysis of conventional nutrients in muscle of two kinds of native fish from Daning river[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2014,42(31):10987-10988.

[19] 蒲德成,苏胜齐,姚维志,等. 云南盘鮈肌肉营养成分分析与营养评价[J]. 食品科学,2015,36(10):129-133.
PU D C,SU S Q,YAP W Z,et al. Analysis and evaluation of the nutritional components in *Discogobio yunnanensis* muscle[J]. Food Science,2015,36(10):129-133.

[20] XUE Y,CHEN H J,LI Y,et al. Mitochondrial genome of the sucking disc gudgeon,*Discogobio yunnanensis* (Teleostei, Cypriniformes)[J]. Mitochondrial DNA,2016,27(2):1451-1452.

[21] SHI C C,YAO M,LV X,et al. Body and organ metabolic rates of a cave fish,*Triplophysarosa*:influence of light and ontogenetic variation [J]. Journal of Comparative Physiology B,2018,188:947-955.

[22] MORAN D,SOFTLEY R,WARRANT E J. The energetic cost of vision and the evolution of eyeless Mexican cavefish[EB/OL]. (2015-09-11)[2021-01-19]. https://advances.sciencemag.org/content/1/8/e1500363.

[23] KILLEN S S,GLAZIER D S,REZENDE E L,et al. Ecological influences and morphological correlates of resting and maximal metabolic rates across teleost fish species[J]. The American Naturalist,2016,187(5):592-606.

[24] LI G,LÜ X,ZHOU J,et al. Are the surface areas of the gills and body involved with changing metabolic scaling with temperature?[J]. The Journal of Experimental Biology,2018,221(8):jeb174474.

[25] 石辰辰. 光照对玫瑰高原鳅代谢率及基因表达的影响[D]. 重庆:西南大学,2019.
SHI C C. Effects of light on metabolic rate and gene expression in *Triplophysa rosa*[D]. Chongqing:Southwest University, 2019.

[26] 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.

[27] PANDIAN T J,VIVEKANANDAN E. Energetics of feeding and digestion[M]//TYTLER P,CALOW P. Fish Energetics: New Perspectives. Baltimore,USA:John Hopkins University Press,1985:99-101.

[28] AMES A,LI Y Y,HEHER E,et al. Energy metabolism of rabbit retina as related to function:high cost of Na^+ transport[J]. The Journal of Neuroscience,1992,12(3):840-853.

[29] ATTWELL D,LAUGHLIN S B. An energy budget for signaling in the grey matter of the brain[J]. Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism,2001,21(10):1133-1145.

[30] LENNIE P. The cost of cortical computation[J]. Current Biology,2003,13(6):493-497.

[31] NAWROTH J C,GREER C A,CHEN W R,et al. An energy budget for the olfactory glomerulus[J]. The Journal of Neuroscience,2007,27(36):9790-9800.

[32] NIVEN J E. Brains, islands and evolution: breaking all the rules[J]. Trends in Ecology and Evolution, 2007, 22(2): 57-59.

[33] ISLER K, VAN SCHAIK C P. Metabolic costs of brain size evolution[J]. Biology Letters, 2006, 2(4): 557-560.

[34] HOCHACHKA P W, DARVEAU C A, ANDREWS R D, et al. Allometric cascade: a model for resolving body mass effects on metabolism[J]. Comparative Biochemistry and Physiology A, 2003, 134(4): 675-691.

Animal Sciences

Comparison of Metabolic Rates of Individuals and Organs of Two Small Fishes in Daning River

ZHU Xiaoling, LI Qian, ZHU Yanqiu, XIONG Wei, ZHANG Pan, XU Yuan, LUO Yiping

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

Abstract: [**Purposes**]To investigate the individual and organ metabolic rates of two small Cyprinidae fishes in the Three Gorges Reservoir area. [**Methods**]The body mass, organ mass, individual and organ metabolic rate of *Paracobitis variegatus* and *Discogobio yunnanensis* in Daning River were measured and compared. [**Findings**]After correcting body mass, the resting metabolic rate, heart mass, olfactory bulb mass and liver metabolic rate of *P. variegatus* were significantly lower than those of *D. yunnanensis* ($p<0.05$); However, the brain metabolic rate of *P. variegatus* was significantly higher than that of *D. yunnanensis* ($p<0.05$). [**Conclusions**]The metabolic level of *P. variegatus* was at medium to high level, while that of *D. yunnanensis* was very high. The difference in metabolic levels between the two species may be related to the differences in their feeding habits and organs.

Keywords: individual resting metabolic rate; organ metabolic rate; Cyprinidae fish

(责任编辑 方 兴)