

# 消化活动与短期饥饿对不同摄食习性鱼类最大代谢的影响\*

黄可人<sup>1</sup>, 张永飞<sup>1</sup>, 刘蓓莹<sup>1</sup>, 罗玉莲<sup>1</sup>, 庞旭<sup>2</sup>, 付世建<sup>1</sup>

(1. 重庆师范大学 进化生理与行为学实验室, 重庆 401331; 2. 西南大学 水产学院, 重庆 400715)

**摘要:**为考察不同摄食习性鱼类在消化活动期间及短期饥饿后最大代谢的变化情况,在24℃条件下,测定南方鲃(*Silurus meridionalis*)、锦鲤(*Carassius auratus*)、丁鲶(*Tinca tinca*)和鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)的幼鱼在消化活动期间及短期饥饿后的最大代谢率(maximum metabolic rate, MMR)。研究结果显示:1)在种间水平上,积极摄食的锦鲤在消化活动时的MMR比其他鱼类在消化活动时的MMR更高,数据差异具有统计学意义( $p < 0.05$ );伏击取食的南方鲃在短期饥饿后的MMR比其他摄食习性鱼类在短期饥饿后的MMR更低,数据差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。2)在种内水平上,锦鲤在消化活动时的MMR与对照组相比有统计学意义上的提升( $p < 0.05$ ),南方鲃、丁鲶和鲢在消化活动时的MMR与对照组相比变化不明显;短期饥饿后的南方鲃MMR与对照组相比有统计学意义上的下降( $p < 0.05$ ),锦鲤、丁鲶、鲢在短期饥饿后的MMR与对照组相比变化不明显。积极摄食的锦鲤心-鳃系统能力强,能够快速消化食物,因此在消化活动时MMR明显上升;伏击取食的南方鲃因采取典型的消化优先模式,故消化活动期间MMR有所降低;丁鲶和鲢单次摄食量少,因而摄食后MMR上升不明显。在经历短期饥饿后,4种鱼类均下调自身生理功能以降低能量消耗。

**关键词:** 有氧代谢; 能量代谢; 短期饥饿; 生理生态

**中图分类号:** Q175

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-6693(2023)05-0049-06

所有生命活动都需要消耗能量,因此能量代谢对生物体至关重要<sup>[1]</sup>。摄食是鱼类非常重要的生理活动之一,鱼类以此获取营养和能量。根据摄食习性的不同,可以将鱼类划分为积极摄食(active forager)、伏击取食(sit-and-wait forager)等2种类型<sup>[2]</sup>;2种类型的鱼类可能与摄食习性和代谢生理反应特征存在关联,并在摄食后消化生理和对饥饿的生理反应上存在差异<sup>[3]</sup>。由于自然界食物资源存在时空异质性,水生生物的生活史中常常会面临短期饥饿。有关禁食对鱼类生理影响的研究表明,鱼类可以调节自身结构与生理功能,以适应食物资源的波动<sup>[4]</sup>。最大代谢率(maximum metabolic rate, MMR)是指给定温度下鱼类短时间内能量消耗的最大速率,一般反映鱼类的最大有氧代谢率。激发和测量鱼类MMR最常用的2种技术方式分别为使用鱼类在临界游泳速度测量期间的最大耗氧率,以及采用人工方式追赶鱼类使之短暂力竭后测得最大耗氧率<sup>[5]</sup>。最适宜激发鱼类MMR的方法因物种和生态型而异,并且与鱼类消化食物的能力有关<sup>[6-7]</sup>。

南方鲃(*Silurus meridionalis*)是栖息于中国长江、珠江等流域的大型凶猛肉食性鱼类,为典型的伏击取食鱼类;锦鲤(*Carassius auratus*)<sup>[8]</sup>又名草金鱼,是人工广泛饲养的、具有重要经济价值的观赏性鱼类,为无胃、单次摄食水平较低且经常摄食的鱼类;丁鲶(*Tinca tinca*)<sup>[9]</sup>为鲤科(Cyprinidae)雅罗鱼亚科(Leuciscinae)丁鲶属(*Tinca*)的杂食性鱼类,主要分布于欧洲,在中国新疆额尔齐斯河流域也有分布;鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)为中国四大淡水鱼之一,主要栖息于江河干流及附属水体的上层,以浮游生物为食。本研究测量了上述不同摄食习性鱼类幼鱼在摄食和短期饥饿后的MMR,以了解不同摄食习性鱼类在进行摄食后消化活动时或遭遇短期饥饿后代谢上限的调整趋势。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验鱼的来源及驯养条件

实验用南方鲃幼鱼购于贵州镇远鱼类水产养殖基地;锦鲤、丁鲶、鲢幼鱼购自重庆市水产养殖场。实验鱼购

\* 收稿日期:2022-11-11 修回日期:2023-02-15 网络出版时间:2023-06-25T10:35

资助项目:国家自然科学基金面上项目(No. 31670418)

第一作者简介:黄可人,女,研究方向为鱼类生理生态学, E-mail: 1450082396@qq.com;通信作者:付世建,男,教授,博士生导师, E-mail: shijianfu9@hotmail.com

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/50.1165.N.20230621.1945.008>

入后,先放置在实验室水生物养殖系统中驯养 14 d,昼夜光周期为 12 h 光照:12 h 黑暗。驯养期间每日 9:00 以商业颗粒饲料饱足投喂 1 次(鲢为滤食性鱼类,改用鱼苗粉料投喂),投喂 1 h 后用虹吸管清理水槽中的粪便和剩余饵料;驯养用水为充分曝气并控温的自来水,水温控制在 $(24 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,为保证水体溶氧质量浓度在 $7\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上,用充气泵不断向水体中充入空气;每日换水量约为养殖水体总体积的 20%。

## 1.2 实验设计

驯化结束后,随机在养殖系统中挑选出每种实验鱼各 36 尾(南方鲇由于实验鱼数量较少,为 27 尾),并保证同种实验鱼健康且大小相近(表 1);之后将挑选出的 4 种实验鱼均随机平均分为摄食组、对照组、饥饿组等 3 个处理组进行 8 d 的实验处理。实验的具体操作为:对摄食组和对照组每日饱足投喂饵料,其中对南方鲇、锦鲤和丁鲷投喂通威鱼用粒径 1~2 mm 膨化配合饲料而对鲢投喂通威高蛋白鱼苗粉料;饥饿组在 8 d 实验处理期间无任何食物供给。实验处理期间,所有养殖条件如水温、溶氧、光周期等与驯养期间保持一致。驯化结束后进行 MMR 测定,其中:MMR 测定前首先对摄食组和对照组禁食 24 h,之后对照组可直接进行 MMR 测定,而摄食组在进行 30 min 充分摄食后再测定 MMR;饥饿组在 8 d 实验处理结束后即测定 MMR。

表 1 实验鱼的体型参数及摄食水平

Tab. 1 The body morphological parameters and feeding levels of the experimental fishes

种类	处理	样本量/个	体质量/g	体长/cm	摄食组平均摄食水平
南方鲇( <i>S. meridionalis</i> )	摄食	9	$5.32 \pm 1.93^a$	$9.10 \pm 1.20$	5.27%
	对照	9	$5.07 \pm 1.63^a$	$9.40 \pm 1.09$	0
	饥饿	9	$5.75 \pm 0.34^a$	$9.79 \pm 0.30$	0
锦鲤( <i>C. auratus</i> )	摄食	12	$4.55 \pm 0.30^{ab}$	$5.28 \pm 0.18$	2.57%
	对照	12	$4.23 \pm 0.26^{ab}$	$5.19 \pm 0.16$	0
	饥饿	12	$4.03 \pm 0.29^b$	$5.17 \pm 0.16$	0
丁鲷( <i>T. tinca</i> )	摄食	12	$4.62 \pm 0.55^{ab}$	$6.34 \pm 0.34$	1.70%
	对照	12	$4.33 \pm 0.30^a$	$6.07 \pm 0.08$	0
	饥饿	12	$4.70 \pm 0.88^c$	$6.26 \pm 0.34$	0
鲢( <i>H. molitrix</i> )	摄食	12	$3.82 \pm 0.42^b$	$6.76 \pm 0.20$	
	对照	12	$3.74 \pm 0.40^b$	$6.68 \pm 0.24$	0
	饥饿	12	$4.20 \pm 0.85^{bc}$	$6.50 \pm 0.75$	0

注:不同字母表示 4 种鱼体质量的数据差异具有统计学意义( $p < 0.05$ );鲢为滤食性鱼类且使用鱼苗粉料投喂,因此平均摄食水平不便统计。

## 1.3 实验方法与参数计算

本研究采用“人工追赶法”诱导实验鱼的最大代谢<sup>[10]</sup>。实验装置为内径 16 cm、外径 32 cm、高 10 cm 的环形水道,内嵌小型循环水泵。将实验鱼放入实验装置,打开水泵,并使用小型渔网辅助追赶,直至鱼体失去平衡或随波逐流,此时实验鱼达到力竭状态,不再有明显应激反应。整个过程一般在 10 min 内完成,随后将实验鱼转移到密闭呼吸室内,转移过程约有 10 s 空气暴露,能更好激发实验鱼 MMR。使用溶氧仪测量呼吸室中溶氧质量浓度,每 10 s 测量 1 次,每尾实验鱼连续测量 5 min,而后通过溶氧质量浓度和测量时间进行线性方程拟合,求出溶氧质量浓度-测量时间曲线的斜率。MMR<sup>[11]</sup>计算公式如下:

$$R_M = 3\ 600 \times S \times (V/m),$$

式中: $R_M$  为实验鱼的 MMR 数值(单位  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ); $S$  为溶氧质量浓度-测量时间曲线斜率数值(单位  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ); $V$  是呼吸室及附属循环系统扣除鱼体积后的体积数值(单位 L),鱼体积根据自身体质量折算得到; $m$  为实验鱼的体质量数值(单位 kg)。

## 1.4 数据处理与统计

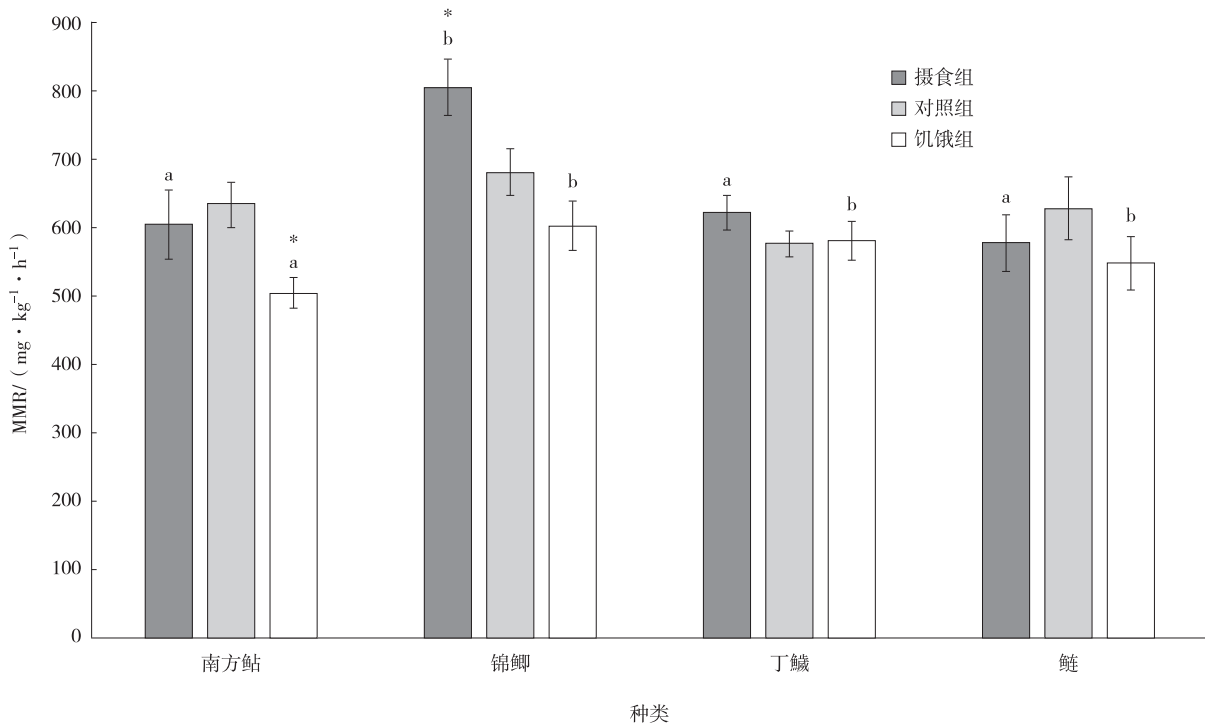
所有实验数据均用“平均值±标准误”表示,采用 Excel 2010 软件进行常规数据计算。采用 SPSS 25.0 软件对所有实验参数进行统计分析。以鱼类种类和摄食/饥饿处理作为影响因子对实验数据进行双因素方差分析,

并用 Duncan 法对数据的组间差异进行多重比较;同一种鱼类的摄食组、饥饿组与对照组数据间的差异采用独立样本  $t$  检验进行分析。当  $p < 0.05$  时,上述统计分析的结果具有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 消化活动对不同摄食习性幼鱼 MMR 的影响

在种间水平上,摄食后锦鲤的 MMR 比南方鲇、丁鲶和鲢的 MMR 更高,且与后三者的组间数据差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。在种内水平上,摄食后锦鲤的 MMR 相对于对照组而言上升了 18.26%,组间数据差异具有统计学意义( $p < 0.05$ );与各自的对照组相比,摄食让南方鲇的 MMR 降低了 4.77%、丁鲶的 MMR 上升了 7.92%、鲢的 MMR 下降了 8.12%,但与对照组的数据差异均无统计学意义(图 1)。



注:“\*”表示同一鱼种在摄食或饥饿处理下与对照组相比 MMR 数据差异具有统计学意义( $p < 0.05$ );不同小写字母表示在同一摄食或饥饿处理下不同鱼种的 MMR 数据差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。

图 1 消化活动和短期饥饿对南方鲇、锦鲤、丁鲶和鲢幼鱼 MMR 的影响

Fig. 1 The effect of digestion and short-term starvation on maximum metabolic rate of juvenile southern catfish, goldfish, tinca, and silver carp

### 2.2 短期饥饿对不同摄食习性幼鱼 MMR 的影响

在种间水平上,短期饥饿后南方鲇的 MMR 比锦鲤、丁鲶和鲢的 MMR 更低,且与后三者的组间数据差异具有统计学意义( $p < 0.05$ )。在种内水平上,南方鲇经过短期饥饿后 MMR 相对于对照组而言降低了 20.49%,组间数据差异具有统计学意义( $p < 0.05$ );与各自的对照组相比,短期饥饿使锦鲤的 MMR 下降 11.63%、丁鲶的 MMR 上升了 0.69%、鲢的 MMR 下降了 12.73%,但与对照组的数据差异均无统计学意义(图 1)。

## 3 讨论

运动和摄食后消化是鱼类等动物在自然界中进行的 2 种主要生理活动。消化是鱼类对自外界摄取的能源物质进行转化吸收的过程,且被吸收的物质主要用于日常活动或生长繁衍。游泳运动如捕食、逃避敌害、迁徙等则是鱼类日常活动的主要方式之一。游泳能力的大小常与心-鳃系统的能力强弱有关,而研究者常使用鱼类力竭运动后代谢水平的高低来衡量心-鳃能力的强弱。本实验采用人工追赶法诱导鱼类最大代谢,可以有效避免部分鱼类由于自身生活习性而导致在达到最大游泳速度之前就停止运动<sup>[5]</sup>等情况的出现,以保证实验结果的相对可靠性。

在本研究中,锦鲤幼鱼的 MMR 明显比其他 3 种鱼类的 MMR 更高。这可能与锦鲤摄氧能力较高且它的心-鳃系统能同时维持高的消化能力和运动能力有关。南方鲇的 MMR 明显比锦鲤的 MMR 更低,这是由它的伏击取食行为和潜伏性生活方式所决定<sup>[12]</sup>。丁鲷和鲢属于杂食性鱼类,它们的 MMR 没有明显差异。

在消化活动期间,与各自的对照组相比,锦鲤的 MMR 明显上升,丁鲷和鲢的 MMR 未出现明显变化,南方鲇的 MMR 则呈下降趋势。研究表明,锦鲤是鲤科鱼类中摄食量较大且摄食频率较高的鱼,为典型的积极摄食的鱼类;因该鱼种的消化功能强且消化时间短,故摄食对运动的影响较小<sup>[13]</sup>。南方鲇日常摄食频率低但摄食量大,且它在消化过程中运动能力受到抑制;然而因该鱼种处于水生食物链顶端,故它在消化时不必维持高的运动能力,可直接将大部分代谢能力用于消化和生长<sup>[14-15]</sup>。丁鲷食性广,但摄食速度慢,摄食量较低,消化能力弱(本研究中丁鲷摄食后 MMR 明显低于锦鲤摄食后 MMR)。鲢作为滤食性鱼类,所食用的粉末状饲料不便于统计,加上鲢单次摄食量小,摄食代谢率也不高,因此本研究中鲢摄食后 MMR 与对照组相比呈现下降趋势可能是鲢摄食量太小导致的实验操作误差所产生。

在饥饿处理后,除南方鲇在 8 d 短期饥饿后 MMR 与对照组相比有明显降低外,其余实验鱼在经历短期饥饿后的 MMR 与各自的对照组相比均无明显变化。已有研究发现,饥饿胁迫会使鱼类降低能量消耗并下调包括消化功能、运动功能在内的各种生理功能,且导致鱼体内消化酶活性降低<sup>[16-17]</sup>、肝细胞体积变小<sup>[18-19]</sup>、肠道稳定受到破坏<sup>[20]</sup>。另外,与本研究饥饿处理结果类似,张波等人<sup>[21]</sup>的研究显示,伏击取食的南方鲇在饥饿下代谢率呈现先逐步降低而后趋于稳定的状态,这可能是因为饥饿时鱼体需要降低能量代谢以节约能量,但又需要满足最低能量需求以便于获取食物时快速恢复摄食和吸收功能。短期饥饿的南方鲇在重新摄食后运动能力没有明显下降,但长期饥饿后再摄食会导致南方鲇代谢模式由消化优先模式转变为添加模式,同时进行摄食后消化和运动两种生理功能<sup>[15]</sup>。中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)作为经常摄食的鱼类在 98 d 的饥饿胁迫下 MMR 与对照组相比有明显下降<sup>[10]</sup>,但本研究中与中华倒刺鲃摄食习性类似的锦鲤幼鱼短期饥饿后 MMR 未出现明显变化,这可能与饥饿处理时间不足和锦鲤的代谢模式为添加模式有关,因为添加模式鱼类强大的心-鳃系统可以有效保证能源物质的高效利用。锦鲤长期被人工驯养,食物条件充足,因而不会在不同生理状态下调节自身代谢模式,摄食或饥饿下均使用较高的代谢维持运动、消化能力,但这一方式并不适用于自然环境<sup>[22]</sup>。饥饿胁迫下,多数鱼类首先消耗内脏周围的肝糖原和脂质等主要能源储备,在禁食一段时间后主要能量储备耗尽,鱼类开始利用蛋白质,此时鱼体中红细胞数量减少<sup>[23]</sup>,这将会导致向组织输送氧气的效率减弱<sup>[24]</sup>,因而鱼类只能降低代谢强度维持生存。短期饥饿对丁鲷最大代谢并无明显影响,而鲢由于摄食习性较为特殊(滤食性),摄食量低,能量消耗低,因此短期饥饿对鲢的 MMR 影响较弱。

综上所述,消化活动和短期饥饿处理对不同摄食习性的鱼类的 MMR 的影响各异。对于积极摄食的锦鲤而言,消化活动对它的 MMR 产生了明显影响;对于南方鲇等典型伏击取食鱼类而言,短期饥饿处理可以对它的 MMR 产生明显影响。然而,消化活动或短期饥饿引起鱼类 MMR 升高或降低的内在引发机制是否存在区别,还需要进一步探讨。

#### 参考文献:

- [1] PANG X, SHAO F, DING S H, et al. Interspecific differences and ecological correlations of energy metabolism traits in freshwater fishes[J]. *Functional Ecology*, 2020, 34(3): 616-630.
- [2] 付世建, 曹振东, 谢小军. 鱼类摄食代谢和运动代谢研究进展[J]. *动物学杂志*, 2008, 43(2): 150-159.  
FU S J, CAO Z D, XIE X J, et al. Feeding metabolism and locomotion metabolism in fishes[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2008, 43(2): 150-159.
- [3] OVERGAARD J, ANDERSEN J B, WANG T. The effects of fasting duration on the metabolic response to feeding in *Python molurus*: an evaluation of the energetic costs associated with gastrointestinal growth and upregulation[J]. *Physiological and Biochemical Zoology*, 2002, 75(4): 360-368.
- [4] FU S J, XIE X J, CAO Z D. Effect of fasting and repeat feeding on metabolic rate in southern catfish, *Silurus meridionalis* Chen [J]. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 2005, 38(3): 191-198.
- [5] KILEEN S S, NORIN T, ALSEY L G. Do method and species lifestyle affect measures of maximum metabolic rate in fishes? [J]. *Journal of Fish Biology*, 2017, 90(3): 1037-1046.
- [6] FU S J, DONG Y W, KILLEN S S. Aerobic scope in fishes with different lifestyles and across habitats; trade-offs among hypoxia

- tolerance, swimming performance and digestion[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2022, 272: 1112-77.
- [7] NORIN T, CLARK T D. Measurement and relevance of maximum metabolic rate in fishes[J]. *Journal of Fish Biology*, 2016, 88(1): 122-151.
- [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.  
LIU H, LI X M, FU S J, et al. The correlations between standard metabolic rate and growth performance in juvenile gold fish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, 40(4): 836-842.
- [9] 冯新忠, 苟萍, 苏俊, 等. 额尔齐斯河野生丁鲶营养成分分析[J]. *食品工业科技*, 2008, 29(6): 276-279.  
FENG X Z, GOU P, SU J, et al. Nutrition compositions analysis of wild *Tinca tinca* L of Ereqsi River Xinjiang. [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2008, 29(6): 276-279
- [10] 唐金玉, 曾令清, 彭姜岚, 等. 饥饿对中华倒刺鲃幼鱼最大代谢和运动能力的影响[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 35(3): 64-68.  
TANG J Y, ZENG L Q, PENG J L, et al. The effects of fasting on the maximum metabolism and locomotion performance in *Spinibarbus sinensis* [J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2018, 35(3): 64-68.
- [11] ZENG L Q, FU C, FU S J. The effects of temperature and food availability on growth, flexibility in metabolic rates and their relationships in juvenile common carp [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2018, 217(1): 26-34.
- [12] FU S J, ZENG L Q, LI X M, et al. The behavioural, digestive and metabolic characteristics of fishes with different foraging strategies [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2009, 212(14): 2296-2302.
- [13] PANG X, CAO Z D, FU S J. The effects of temperature on metabolic interaction between digestion and locomotion in juveniles of three cyprinid fish (*Carassius auratus*, *Cyprinus carpio* and *Spinibarbus sinensis*) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2011, 159(3): 253-260.
- [14] FU S J, XIE X J, CAO Z D. Effect of meal size on specific dynamic action in southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2005, 36(14): 1384-1390.
- [15] McGAW I J. The interactive effects of exercise and feeding on oxygen uptake, activity levels, and gastric processing in the graceful crab *Cancer gracilis* [J]. *Physiological and Biochemical Zoology*, 2007, 80(3): 335-343.
- [16] ABOLFATHI M, HAJIMORADLOO A, GHORBANI R, et al. Effect of starvation and refeeding on digestive enzyme activities in juvenile roach, *Rutilus rutilus caspicus* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2012, 161(2): 166-173.
- [17] BABAIE S, ABEDIAN-KENARI A, NASEI M, et al. Impact of starvation on digestive enzymes activities and plasma metabolites in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869) [J]. *Aquaculture Research*, 2020, 51(4): 1689-1699.
- [18] BISAL G A, BENGTSON D A. Description of starving condition in summer flounder *Paralichthys dentatus* early history stage [J]. *Fishy Bulletin*, 1995, 93(2): 217-230.
- [19] 付世建, 邓利, 张文兵, 等. 南方鲇幼鱼胃和肝脏的组织结构及其在饥饿过程中的变化[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 1999, 24(3): 78-84.  
FU S J, DENG L, ZHANG W B, et al. Histology of stomach and liver in *Silurus meridionalis* and their change during starvation [J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 1999, 24(3): 78-84.
- [20] PAN Y X, TAO J S, ZHOU J, et al. Effect of starvation on the antioxidative pathway, autophagy, and mitochondrial function in the intestine of Chinese perch *Siniperca chuatsi* [J]. *Aquaculture*, 2022, 548(2): 737683.
- [21] 张波, 谢小军. 南方鲇的饥饿代谢研究[J]. *海洋与湖沼*, 2000, 31(5): 480-484.  
ZHANG B, XIE X J. Starvation metabolism in the southern catfish (*Silurus meridionalis*) [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, 31(5): 480-484.
- [22] 付世建, 曹振东, 曾令清, 等. 鱼类游泳运动: 策略与适应性进化[M]. 北京: 科学出版社, 2014.  
FU S J, CAO Z D, ZENG L Q, et al. Swimming in fish: strategies and adaptive evolution [M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [23] RIOS F S A, CARVALHO C S, PINHEIRO G H D, et al. Utilization of endogenous reserves and effects of starvation on the health of *Prochilodus lineatus* (Prochilodontidae) [J]. *Environmental biology of fishes*, 2011, 91(1): 87-94.
- [24] NIKINMAA M, SALAMA A. Oxygen transport in fish [M] // PERRY S, TUFTS B. *Fish physiology*, Vol. 17. New York: Academic Press, 1998: 141-184.

## Animal Sciences

## Effects of Digestion and Short-Term Starvation on the Maximum Metabolism Rate of Fish with Different Feeding Habits

HUANG Keren<sup>1</sup>, ZHANG Yongfei<sup>1</sup>, LIU Qianying<sup>1</sup>, LUO Yulian<sup>1</sup>, PANG Xu<sup>2</sup>, FU Shijian<sup>1</sup>

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

2. College of Fisheries, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** In order to study the changes in the maximum metabolism of fish with different feeding habits after digestion and short-term starvation. At 24 °C, the maximum metabolism of juvenile southern catfish, goldfish, tinca, and silver carp digestion and short-term starvation was determined. At the interspecific level, the results showed that the maximum metabolic rate of active forager gold fish after feeding was significantly higher than that of other fishes ( $p < 0.05$ ), and the maximum metabolic rate of sit-and-wait forager southern catfish was significantly lower than that of species with other feeding habits after short-term starvation ( $p < 0.05$ ). At the intraspecific level, the maximum metabolic rate of goldfish increased significantly after digestion ( $p < 0.05$ ), while the changes in MMR of southern catfish, tinca, and silver carp were not significant. Due to the strong ability of the heart gill system of goldfish, the MMR of fish increases after digestion; the maximum metabolism of the southern catfish feeding in sit-and-wait forager, as a typical digestive priority model, decreased after feeding; tinca and silver carp consumed less food at one time, and their metabolism did not increase significantly after ingestion. After short-term starvation, the physiological function of fish is downregulated to reduce energy consumption.

**Keywords:** aerobic metabolism; energy metabolism; short-term starvation; eco-physiology

(责任编辑 方 兴)