

饥饿对鲫鱼幼鱼静止代谢及个性行为的影响*

凌 鸿, 曾令清

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

摘要:【目的】考察饥饿对鲤科鱼类表型性状(能量代谢和个性行为)的影响。【方法】以鲫(*Carassius auratus*)幼鱼为研究对象,在(25±0.5)℃条件下首先测定60尾实验鱼的静止代谢率(Resting metabolic rate, RMR),并从中筛选出30尾实验鱼,测定它们的形态参数和个性行为(勇敢性和好斗性);然后对筛选出的实验鱼饥饿处理14 d后再次测定它们的形态参数和个性行为。【结果】饥饿处理明显降低实验鱼的体质量和肥满度,但对RMR和勇敢性均无影响,并使得好斗性评价参数中的撕咬次数降低。鲫幼鱼RMR和形态参数均具有明显的重复性,但个性行为的重复性整体上较低。饥饿处理前后实验鱼的RMR与个性行为均不相关,但不同的个性行为间存在的表型关联不受饥饿影响。【结论】鲫幼鱼RMR和形态特征在饥饿后仍维持较高的重复性,饥饿并未增强个体的勇敢性和好斗性。

关键词:静止代谢率;个性行为;表型;适合度;鲫

中图分类号:Q175

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2019)05-0052-08

动物的行为特征具有稳定个体差异现象,被称作“动物个性”(Animal personality)^[1-2]。有关种内的个体差异很少在个体间形态上进行比较,因为同一物种的不同个体在外观形态上十分相似。因此研究人员主要从种内个体的生理功能和行为特征进行个体差异分析。最近,有关鱼类种内个体差异的研究已逐渐成为鱼类生态学的研究热点,并且多以鱼类静止代谢率(Resting metabolic rate, RMR)的个体差异作为研究起点^[2-3]。这是因为RMR是动物生活史重要的能量代谢参数之一,它影响机体生长、运动、繁殖等生理功能的能量分配^[4-5]。因此,不同生理功能与行为之间的能量分配权衡可能导致动物种内个体的生活史对策和适合度在时空上存在差异,相关研究具有重要的理论意义和研究价值。

饥饿是鱼类在自然水域生态系统中所必须面对的一种环境胁迫,与自然界中食物分布在空间上的不均匀性、季节更替或环境剧变等原因有关^[6-7]。即使在人工养殖条件下,养殖密度过大、个体间相互竞争、投饵不足、投喂技术不当等都可能引起鱼类面临因食物短缺而引起的饥饿胁迫^[8]。研究表明,饥饿可以降低鱼类代谢^[9],改变游泳行为^[10],影响组织结构、存活、繁殖、酶活性等^[11-12]。在饥饿状态下,鱼类的代谢机能发生改变以适应不同营养状况,通过利用鱼体自身的储存物质提供能量来维持生命活动。虽然有关饥饿对鱼类RMR影响的报道十分丰富,但有关饥饿对个性行为的研究迄今为止相对较少。

鲫(*Carassius auratus*)是广泛分布在温带地区淡水水域的底栖杂食性鱼类,生性活泼好动,适应性强^[13],已有研究者从代谢模式^[14]、偏好游泳能力^[15]、耗氧率^[16]、血液生化指标^[17]等方面对鲫幼鱼进行了研究。由于鲫幼鱼能够较长时间地耐受饥饿^[16],故本研究以鲫幼鱼为实验对象,研究饥饿对它的RMR及个性行为的影响,测定鲫幼鱼在有无饥饿胁迫下的代谢(RMR)和个性行为(勇敢性和好斗性)以及两者之间的关系,并比较两种条件下测得的勇敢性与好斗性指标,为评价鲫幼鱼在不同的生长环境中的行为及代谢提供基础资料,并揭示鲫幼鱼个体的生活史对策及适合度的时空差异。

1 材料与方法

1.1 实验鱼的来源及驯养

用于实验的鲫幼鱼购自重庆市北碚区歇马镇养殖基地。使用被动集成应答器(Passive integrated transpon-

* 收稿日期:2019-02-20 修回日期:2019-08-05 网络出版时间:2019-09-26 11:24

资助项目:国家自然科学基金(No. 31300341);重庆市自然科学基金(No. cstc2017jcyjA0029);重庆市高等学校青年骨干教师资助计划项目(No. CQJW-02060301-1714)

第一作者简介:凌鸿,女,研究方向为鱼类比较生理学,E-mail:15196718074@163.com;通信作者:曾令清,男,副教授,博士,E-mail:lingqingzeng@hotmail.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20190926.1124.022.html>

der, PIT)对实验鱼进行体内标记,然后在重庆师范大学进化生理与行为学实验室的自净化循环控温水槽(20 L)中驯养 30 d,驯养的水温为(25±0.5)℃从而保持与鲫鱼养殖水温一致。驯养期间以中国通威公司生产的商业饲料每天定量投喂 3 次,投喂时间分别为每日的 9:00, 15:00 和 19:00。投喂 0.5 h 后用虹吸法清除残饵和粪便,日换水量约为驯化水体体积的 10%;实验用水为曝气控温后的自来水,用充气泵不断向水中充气,使水中溶氧水平接近于饱和(大于 7 mg·L⁻¹)。光周期为光照 14 h:10 h 黑暗。

1.2 实验设计

驯养结束后,首先测定 60 尾驯化鱼的形态参数和 RMR,并从中挑选体质量为(9.04±0.15)g、个体健康、大小相近的 30 尾实验鱼,随后测定实验鱼的个性行为(勇敢性和好斗性)。之后,将挑选出来的 30 尾实验鱼单尾移入已编号的单个养殖单元格进行 14 d 饥饿处理,并在饥饿处理后再次测定它们的形态参数、RMR、勇敢性和好斗性。

1.3 形态参数的测定

测定每尾实验鱼形态参数时,体质量的测量精度为 0.01 g,体长的测量精度为 0.1 cm。鲫幼鱼个体肥满度用 Fulton 状态指数判定^[18-19],计算公式为:

$$K = \frac{100 \times m}{l^3} \quad (1)$$

式中:K 为肥满度(单位:g·cm⁻³),m 为体质量(单位:g),l 为体长(单位:cm),100 为人为规定的固定系数。

1.4 RMR 的测定

RMR 的测定选用流水式呼吸代谢仪进行测定,用耗氧率来表征。测定时提前 24 h 将单尾实验鱼装入呼吸室适应环境,适应完毕后分别在第 2 日的 9:00, 11:00, 13:00, 15:00, 17:00, 19:00 和 21:00 用溶氧仪(HQ_{30d}, 美国哈希公司)测定实验鱼的耗氧率,将上述时刻测定的耗氧率取平均值作为 RMR。计算 RMR 的公式为:

$$V_{\text{RMR}} = \Delta w_{\text{O}_2} \times v \quad (2)$$

式中: V_{RMR} 为 RMR(单位:mg·h⁻¹); Δw_{O_2} 是实验呼吸室出口处与空白对照的溶氧质量浓度差值(单位:mg·L⁻¹); v 是实验呼吸室出水口的流量(单位:L·h⁻¹),由呼吸室出水口每流出 50 mL 水所需要的时间计算获得。

由于实验鱼个体间的体质量仍存在差异,并且体质量影响了 RMR 的比较,所以须对所有实验鱼进行体质量校正。校正方法为:首先对单尾鱼的体质量和 RMR 求以 10 为底的对数,然后对新的体质量和 RMR 数据进行线性回归以获取单尾鱼 RMR 的残差和回归方程;再利用以下方程将所有鱼的 RMR 校正至标准体质量(本研究为 9.04 g)^[20]:

$$\log_{10} V_{\text{RMR}} = \log_{10} b + a \log_{10} m + \epsilon \quad (3)$$

式中:m 和 V_{RMR} 的含义见(1),(2)式;小写字母 a, b 为常数,ε 为 RMR 的残差。

1.5 个性行为的测定

1.5.1 勇敢性 勇敢性用于评价实验鱼在不确定环境(如有捕食者或其他胁迫因素)中的风险承担能力,常用模拟捕食者存在下的鱼类行为反应如潜伏时间、潜伏比例、接近食物距离等进行评价^[21]。本研究采用白鹭模型模拟捕食者,该模型个体形态、大小、颜色模拟成年白鹭。将实验鱼放入行为观察水箱驯化 1 h,观察水箱的结构见前期文献^[21]。驯化结束后,当鱼在距离食物环 1 倍体长区域内或准备进行摄食时,使用白鹭模型进行模拟捕食者攻击实验鱼,快速地将白鹭模型的喙侵入水中 3 cm 后快速上升,实验鱼因受到惊吓快速游进行为观察水箱的准备区。待水面平静后,打开在实验区正上方的摄像机连续录像 20 min。选择白鹭模型作为捕食者的原因在于:白鹭是鲫等鱼类常见的水面捕食者,二者之间具有天然的捕食者-猎物关系^[22]。每尾鱼的勇敢性行为重复测定 2 次,共获 3 个视频。对视频进行分析,计算实验鱼的潜伏时间(袭击后至游出准备区)和实验区的暴露时间及穿梭次数。如果实验鱼的潜伏时间越短、在实验区的暴露时间越长及穿梭次数多,该鱼的勇敢性越高。

1.5.2 好斗性 好斗性以入侵者方式评价,实验鱼的大小与入侵个体相当。在勇敢性测定完毕后,将实验鱼转移至好斗性行为实验装置的竞技场^[21]适应 2 h,竞技场的大小为长 35 cm×25 cm,实验鱼可以在其中自由活动,以提高鱼对实验水箱环境熟悉感。将入侵者固定于两端用网状丝绢固定好的透明呼吸室中驯化 2 h,随后将装有入侵鱼的呼吸室在水体中转移至竞技场内,随后连续摄像 10 min,观察实验鱼对入侵鱼的行为反应。作为入侵者的鲫幼鱼共 5 尾,即重复摄像 4 次,而实验鱼个体保持不变。对视频进行分析,获取好斗性评价参数^[23]如下:

1) 警告行为:当实验鱼开始出现头朝向呼吸室中入侵者、并且游向入侵者时,这一行为的出现表明实验鱼开始攻击入侵者,该行为可能在拍摄视频的所有时间段出现,因此需要计算所有行为的次数。2) 追随时间:在警告之后,实验鱼随着入侵者的移动而发生质心移动,计算次数。3) 撕咬频率:实验鱼表现用力撞击呼吸室外壁而摆尾频率较快,计算撕咬次数。实验个体对入侵个体的警告、追随和撕咬(冲击呼吸室)的次数越多,该实验鱼的好斗性越强。

1.6 数据处理与统计

用 Excel 2007 软件对所有实验数据做常规计算,所有实验数据均用“平均值±标准误”表示。用 SPSS 19.0 统计软件中的配对 t -检验对实验鱼在饥饿处理前后的 RMR、表型参数的平均值差异进行统计学检验,而 RMR、行为参数及形态参数的重复性则采用该软件的 Pearson 相关分析进行考察。当 $p < 0.05$ 时,上述统计分析结果具有统计学意义。

2 结果

2.1 RMR

实验鱼的 RMR、形态参数及个性行为的变化如表 1 所示。与饥饿处理前相比,饥饿处理后的实验鱼形态参数有统计学意义上的降低 ($p < 0.001$);而饥饿处理前后的实验鱼 RMR、勇敢性及好斗性均无统计学意义上的差异。同时,图 1 显示在饥饿处理前后,实验鱼的 RMR 和体质量、体长、肥满度等形态参数的重复性均较好 ($p < 0.05$)。

2.2 勇敢性

饥饿处理前后实验鱼勇敢性参数对比如图 2 所示。其中,实验鱼的暴露时间在饥饿处理前后无统计学意义上的相关性;鲫幼鱼的潜伏时间、穿梭次数在饥饿处理前后均呈统计学意义上的相关性 ($p < 0.05$)。

2.3 好斗性

图 3 为饥饿处理前后鲫幼鱼的好斗性参数对比。从该图可知,实验鱼的警告次数、追随次数和撕咬次数在饥饿处理前后均无统计学意义上的相关性,即重复性差。

表 1 饥饿处理前后鲫幼鱼形态参数、RMR 和个性行为的变化

Tab. 1 The phenotypic, metabolism, and personality parameters of juvenile *C. auratus* subjected to starvation at the beginning and the end of the experiment

参数	饥饿处理前	饥饿处理后	t	p
形态				
体质量/g	10.87±0.17 ^a	9.55±0.16 ^b	10.959	<0.001
体长/cm	7.19±0.04 ^a	7.11±0.03 ^b	2.284	0.030
肥满度/(g·cm ⁻³)	2.92±0.03 ^a	2.65±0.04 ^b	7.404	<0.001
代谢				
RMR/(mg·h ⁻¹)	1.64±0.11 ^a	1.47±0.11 ^a	1.423	0.166
勇敢性				
潜伏时间/s	471.0±53.8 ^a	485.7±52.8 ^a	0.348	0.731
暴露时间/s	261.6±46.9 ^a	263.8±34.8 ^a	0.039	0.969
穿梭次数	13.8±7.9 ^a	17.2±7.0 ^a	0.646	0.523
好斗性				
警告次数	6.2±0.5 ^a	6.7±0.6 ^a	0.756	0.456
追随次数	3.9±0.4 ^a	3.3±0.6 ^a	1.001	0.325
撕咬次数	10.5±1.6 ^a	3.0±0.8 ^b	5.989	<0.001

注:上标不同小写字母表示同一行数据有统计学意义上的差异 ($p < 0.05$)。

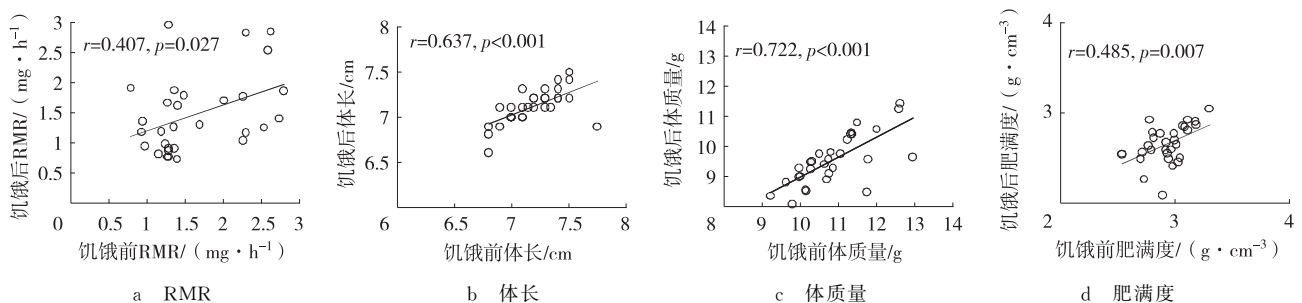


图 1 饥饿处理前后鲫幼鱼 RMR 和形态参数的重复性

Fig. 1 The repeatability of RMR and morphological parameters in juvenile *C. auratus* at the beginning and the end of the experiment

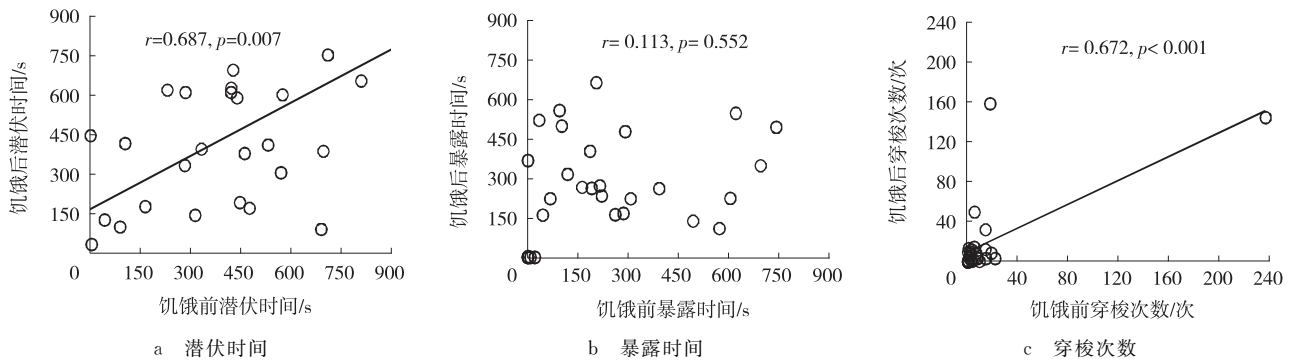


图 2 饥饿处理前后鲫幼鱼勇敢性的重复性

Fig. 2 The repeatability of boldness in juvenile *C. auratus* at the beginning and at the end of the experiment

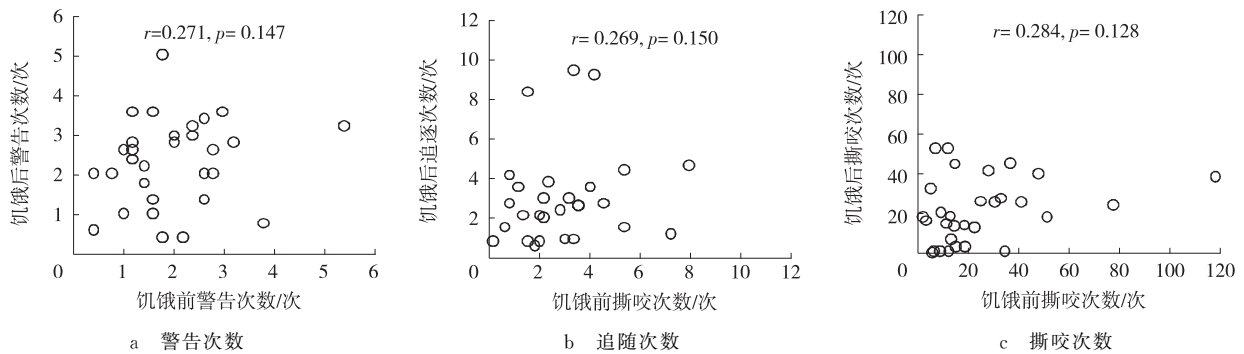


图 3 饥饿处理前后鲫幼鱼好斗性的重复性

Fig. 3 The repeatability of aggression in juvenile *C. auratus* at the beginning and at the end of the experiment

2.4 勇敢性和好斗性之间的关联

实验鱼的勇敢性与好斗性行为之间的关系如表 2 所示,饥饿处理前,勇敢性行为中的潜伏时间与暴露时间和穿梭次数呈统计学意义上的负相关关系($p < 0.05$);好斗性行为中的警告次数与追随次数和撕咬次数呈统计学意义上的正相关关系($p < 0.01$);追随次数与撕咬次数呈统计学意义上的正相关关系($p < 0.01$)。经过 14 d 的饥饿处理,实验鱼上述勇敢性和好斗性行为间存在的正(负)相关关系仍然具有统计学意义($p < 0.01$)。

2.5 RMR 与个性行为的关联

实验鱼在饥饿处理前后的 RMR 与个性行为的关系如表 3 所示,从中可见:无论有无饥饿处理,实验鱼的 RMR 与个性行为之间均没有统计学意义上的相关性。

3 讨论

饥饿作为自然界常见的环境胁迫因子,不仅导致动物的个体质量、饱满度等降低,也引起生理功能的下调、能量代谢水平的降低^[24-25]以及运动能力的改变。鱼类在饥饿过程中,可以通过调节代谢水平、能量分配、行为运动以及自身物质的储存与利用来适应这种环境胁迫^[25-26]。在 20 °C 条件下,14~28 d 饥饿处理对鲫幼鱼的耗氧率无明显影响^[27]。在 15 和 25 °C 条件下,鲤(*Cyprinus carpio*)幼鱼在饥饿 14 d 后的 RMR 无明显变化^[28]。在 25 °C 条件下,鲇(*Silurus asotus*)幼鱼采用阶段性 RMR 降低的方式来适应饥饿环境^[29]。在 25 °C 条件下,中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)幼鱼的 RMR 在饥饿处理 7 d 后明显下降;而在 15 °C 条件下,该种鱼的 RMR 在饥饿处理 28 d 后才明显下降^[30-31]。上述研究表明,不同鱼类应对饥饿胁迫的代谢调整策略不尽相同,并且受到水温的交互影响。本研究发现,饥饿处理 14 d 对鲫幼鱼的 RMR 并无明显影响,这与前期研究结果一致^[27-28]。在面对饥饿胁迫时,鱼类是否下调 RMR 可能与生态习性(如运动类型)有关。中华倒刺鲃为运动型,而鲇属于伏击型,鲤和鲫介于二者之间。短期饥饿胁迫可能使伏击型鱼类的 RMR 出现明显下降,但对运动型鱼类的 RMR 影响相对较小。

与其他形态学或生活史特征一样,个性行为如勇敢性和侵略性也受遗传基因和环境因素的影响^[32]。本研究

利用白鹭的模型模拟捕食者,以此来测定鲫幼鱼的勇敢性。然而与预期结果相反,饥饿胁迫并未提高鲫幼鱼的勇敢性,可能是由于实验鱼 RMR 的变动影响个体食欲调整强度,而实验鱼 RMR 相对稳定^[33],故食欲在短期饥饿期间能维持稳定。对于鲫幼鱼的好斗性行为而言,虽然饥饿胁迫对鲫幼鱼警告次数和追随次数并未产生明显的影响,但明显降低了该种鱼的撕咬频率,表明饥饿胁迫降低了实验鱼对同种入侵者的攻击倾向。

表 2 鲫幼鱼在饥饿前后勇敢性和好斗性的关系

Tab. 2 The behavioural correlations between boldness and aggression in juvenile *C. auratus* at the beginning and the end of the experiment

处理	参数	暴露时间	穿梭次数	警告次数	追随次数	撕咬次数
饥饿处理前	潜伏时间	$r = -0.825^{**}$, $p < 0.001$	$r = -0.379^*$, $p = 0.039$	$r = -0.013$, $p = 0.945$	$r = -0.203$, $p = 0.282$	$r = -0.035$, $p = 0.855$
	暴露时间		$r = 0.320$, $p = 0.085$	$r = -0.044$, $p = 0.817$	$r = 0.144$, $p = 0.449$	$r = 0.020$, $p = 0.916$
	穿梭次数			$r = -0.040$, $p = 0.834$	$r = -0.163$, $p = 0.390$	$r = -0.090$, $p = 0.636$
	警告次数				$r = 0.628^{**}$, $p < 0.001$	$r = 0.561^{**}$, $p = 0.001$
	追随次数					$r = 0.824^{**}$, $p < 0.001$
饥饿处理后	潜伏时间	$r = -0.636^{**}$, $p < 0.001$	$r = -0.494^{**}$, $p = 0.005$	$r = 0.176$, $p = 0.353$	$r = -0.111$, $p = 0.561$	$r = -0.141$, $p = 0.449$
	暴露时间		$r = 0.237$, $p = 0.207$	$r = -0.359$, $p = 0.051$	$r = -0.152$, $p = 0.423$	$r = -0.104$, $p = 0.583$
	穿梭次数			$r = -0.154$, $p = 0.417$	$r = 0.275$, $p = 0.141$	$r = 0.351$, $p = 0.057$
	警告次数				$r = 0.480^{**}$, $p = 0.007$	$r = 0.585^{**}$, $p = 0.001$
	追随次数					$r = 0.742^{**}$, $p < 0.001$

注:*,**分别表示统计结果在 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$ 水平上具有统计学意义。

表 3 鲫幼鱼实验前后代谢与个性行为的关系

Tab. 3 The correlations between RMR and personality in juvenile *C. auratus* at the beginning and end of experiment

个性行为参数	饥饿处理前 RMR	饥饿处理后 RMR	个性行为参数	饥饿处理前 RMR	饥饿处理后 RMR
潜伏时间	$r = -0.277, p = 0.139$	$r = -0.095, p = 0.618$	警告次数	$r = -0.084, p = 0.660$	$r = 0.308, p = 0.098$
暴露时间	$r = 0.230, p = 0.221$	$r = 0.094, p = 0.620$	追随次数	$r = -0.274, p = 0.143$	$r = -0.071, p = 0.709$
穿梭次数	$r = 0.360, p = 0.051$	$r = 0.321, p = 0.084$	撕咬次数	$r = -0.114, p = 0.548$	$r = 0.042, p = 0.826$

个性行为的相关性很少得到清晰阐述,因为在自然环境中,鱼类行为具有可塑性,而这种可塑性有利于鱼类的生存^[34]。一些研究表明,好斗性越强的个体也更加大胆^[35-36];然而这种相关性并非普遍存在,如本研究中,鲫幼鱼的勇敢性与好斗性行为均不相关。而三刺鱼(*Gasterosteus aculeatus*)在有捕食者存在时它的好斗性与勇敢性才有明显的相关关系^[37]。本研究中,14 d 的饥饿处理并未改变实验鱼潜伏时间与暴露次数和穿梭次数的相关性,同样也未改变实验鱼的警告次数与追随次数和撕咬次数的相关性;而且这一处理并未使得鲫幼鱼的勇敢性和好斗性行为具有相关性。这一结果说明短期的饥饿胁迫对鲫幼鱼个性行为的影响较低。

稳定个体变异(Consistent individual differences)是指动物表型如生理、行为、形态等存在种内个体变异并且

这种变异在一段时期内保持相对稳定,可重复测量。该方面的相关研究具有重要的生态和进化意义^[2]。有学者认为,个性行为和 RMR 在一段时间内保持稳定,可能是经历^[38]和遗传有关^[39]。虽然一些研究认为动物表型特征的重复性随时间延长而降低,且实验室测定的表型重复性明显高于野外测定^[40],但在饥饿胁迫下,本研究中鲫幼鱼 RMR 和形态参数重复性均较高。另外,本研究中鲫幼鱼的勇敢性行为表现出一定的重复性,而好斗性行为则无明显的重复性,这表明饥饿胁迫下的鲫幼鱼勇敢性有稳定的个体变异,而好斗性变异较大。

综上所述,本研究中的饥饿胁迫明显影响了鲫幼鱼的形态学特征,但对 RMR 无明显影响,可能是饥饿时间较短或者鲫鱼的生态习性的原因;饥饿处理对鲫幼鱼的勇敢性无明显影响,对好斗性也基本无影响,表明短期饥饿胁迫不会使鲫鱼的个性行为发生较大改变;鲫幼鱼在饥饿情况下,它的代谢、形态、勇敢性及个性行为间的关联具有稳定的个体变异。

参考文献:

- [1] CAREAU V, GARLAND T. Performance, personality, and energetics: correlation, causation, and mechanism[J]. *Physiological and Biochemical Zoology*, 2012, 85(6): 543-571.
- [2] BIRO P A, STAMPS J A. Do consistent individual differences in metabolic rate promote consistent individual differences in behavior? [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2010, 25(11): 653-659.
- [3] 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]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2011, 278(1724): 3465-3473.
- [4] FU S J, XIE X J. Nutritional homeostasis in carnivorous southern catfish (*Silurus meridionalis*): is there a mechanism for increased energy expenditure during carbohydrate overfeeding? [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A Molecular and Integrative Physiology*, 2004, 139(3): 359-363.
- [5] 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.
- [6] FISHELSON L. Experiments and observations on food consumption, growth and starvation in *Dendrochirus brachypterus* and *Pterois volitans* (*Pteroinae, Scorpaenidae*) [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1997, 50(4): 391-403.
- [7] MEHNER T, WIESER W. Energetics and metabolic correlates of starvation in juvenile perch (*Perca fluviatilis*) [J]. *Journal of Fish Biology*, 2010, 45(2): 325-333.
- [8] KIM M K, LOVELL R T. Effect of restricted feeding regimens on compensatory weight gain and body tissue changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* in ponds [J]. *Aquaculture*, 1995, 135(4): 285-293.
- [9] 曾令清, 彭韩柳依, 王健伟, 等. 南方鲂幼鱼运动代谢的个体变异和重复性及其饥饿响应 [J]. *水产学报*, 2015, 39(1): 52-64.
- ZENG L Q, PENG-HAN L Y, WANG J W, et al. Repeatability and variation in locomotion metabolism of the juvenile southern catfish during starvation [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(1): 52-64.
- [10] WERNER E E, ANHOLT B R. Ecological consequences of the trade-off between growth and mortality-rates mediated by foraging activity [J]. *American Naturalist*, 1993, 142: 242-272.
- [11] AMALIA PÉREZ-JIMÉNEZ, GUEDES M J, MORALES A E, et al. Metabolic responses to short starvation and refeeding in *Dicentrarchus labrax*. effect of dietary composition [J]. *Aquaculture*, 2007, 265(1/2/3/4): 325-335.
- [12] 张永泉, 刘奕, 徐伟, 等. 饥饿对哲罗鱼仔鱼形态、行为和消化器官结构的影响 [J]. *大连海洋大学学报*, 2010, 25(4): 330-336.
- ZHANG Y Q, LIU Y, XU W, et al. The effects of starvation on morphology, behavior and digestive system in larval Taimen Hucho taimen [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2010, 25(4): 330-336.
- [13] 丁瑞华. 四川鱼类志 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994.
- DING R H. *The Fishes of Sichuan* [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology, 1994.
- [14] 张伟, 曹振东, 付世建. 溶氧水平对鲫鱼代谢模式的影响 [J]. *生态学报*, 2012, 32(18): 5806-5812.
- ZHANG W, CAO Z D, FU S J. Effect of dissolved oxygen level on metabolic mode in juvenile crucian carp [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(18): 5806-5812.
- [15] 吴青怡, 曾令清, 付世建. 不同营养状况对鲫鱼偏好游泳速度的影响 [J]. *中国水产科学*, 2016, 23(3): 565-573.
- WU Q Y, ZENG L Q, FU S J. Preferred swimming behavior in the crucian carp (*Carassius auratus*) at different nutrition status [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(3): 565-573.
- [16] 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]. *Com-*

- parative Biochemistry and Physiology, Part A, Molecular & Integrative Physiology, 2018, 217: 26-34.
- [17] 程超, 施光美. 饥饿对鲫鱼血液生理生化指标和流变学性质的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(1): 516-519.
CHENG C, SHI G M. Effects of starvation on blood physio-biochemical indices and hemorheological properties of *Carassius auratus*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(1): 516-519.
- [18] 戴强, 戴建洪, 李成, 等. 关于肥满度指数的讨论[J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(5): 715-718.
DAI Q, DAI J H, LI C, et al. Discussion on relative fatness [J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2006, 12(5): 715-718.
- [19] 王刚, 李成, 吴军, 等. 基于人工掩蔽物法的若尔盖湿地中华蟾蜍种群生态研究[J]. 生态学报, 2016, 36(17): 5556-5563.
WANG G, LI C, WU J, et al. Population ecology of *Bufo gargarizans* in Zoige wetland based on artificial cover[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(17): 5556-5563.
- [20] 凌鸿, 冯琪, 陈月琴, 等. 成对鲫鱼游泳行为与标准代谢率的关系[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2018(5): 41-77.
LING H, FENG Q, CHEN Y Q, et al. Correlations between Standard Metabolic Rate and Swimming Behavior in Paired Juvenile *Carassius auratus*[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2018(5): 41-77.
- [22] FU C, FU S J, CAO Z D, et al. Habitat-specific anti-predator behavior variation among pale chub (*Zacco platypus*) along a river[J]. Marine and Freshwater Behaviour and Physiology, 2015, 48(4): 1-12.
- [22] 辜永河. 白鹭的栖息地与取食行为的研究[J]. 动物学杂志, 1996, 3(1): 23-24.
GU Y H. Study on habitat and feeding behavior of egret [J]. Chinese Journal of Zoology, 1996, 3(1): 23-24.
- [23] EERMAN A P, WIESKI K, BAIRD D J. Behavioural versus physiological mediation of life history under predation risk[J]. Oecologia, 2007, 152(2): 335-343.
- [24] 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.
- [25] O'CONNOR KI, TAYLOR A C, METCALFE N B. The stability of standard metabolic rate during a period of food deprivation in juvenile Atlantic salmon[J]. Journal of Fish Biology, 2000, 57(1): 41-51.
- [26] COOK J T, SUTTERLIN A M, MCNIVEN M A. Effect of food deprivation on oxygen consumption/body composition of growth-enhanced transgenic Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Aquaculture, 2000, 188(1): 47-63.
- [27] 彭韩柳依, 曹振东, 付世建. 饥饿对鲫鱼幼鱼游泳能力的影响[J]. 生态学杂志, 2014, 33(10): 2756-2760.
PENG-HAN L Y, CAO Z D, FU S J. Effect of starvation on swimming performance of juvenile crucian carp [J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(10): 2756-2760.
- [28] 付成, 曹振东, 付世建. 温度和饥饿对鲤鱼幼鱼静止代谢率及自发运动的影响[J]. 动物学杂志, 2012, 47(2): 85-90.
FU C, CAO Z D, FU S J. The Influence of temperature and starvation on resting metabolic rate and spontaneous activity in juvenile *Cyprinus carpio* [J]. Chinese Journal of Zoology, 2012, 47(2): 85-90.
- [29] 汤洪芬, 曹振东, 付世建. 饥饿对鲇鱼幼鱼静止代谢率的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2007, 24(1): 72-75.
TANG H F, CAO Z D, FU S J. The influence of starvation on metabolism of the juvenile Chinese catfish (*Silurus asotus* Linnaeus) [J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2007, 24(1): 72-75.
- [30] 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, 161(3): 69-73.
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, 161(3): 69-73.
- [31] 庞旭, 付世建, 曹振东, 等. 饥饿和温度驯化对中华倒刺鲃静止代谢和游泳能力的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(7): 1854-1860.
PANG X, FU S J, CAO Z D, et al. The effects of fasting and acclimation temperature on the resting metabolism and swimming performance in qingbo (*Spinibarbus sinensis*) [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(7): 1854-1860.
- [32] ALISON M, BELL A S. Exposure to predation generates personality in threespined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) [J]. Ecology Letters, 2007, 10: 828-834.
- [33] KILLEN S S, FU C, WU Q, et al. The relationship between metabolic rate and sociability is altered by food-deprivation [J]. Functional Ecology, 2016, 30(8): 1358-1365.
- [34] SIH A, BELL A, JOHNSON J C. Behavioral syndromes: an ecological and evolutionary overview [J]. Trends in Ecology & Evolution, 2004, 19(7): 327-378.
- [35] JOHNSON J C, SIH A. Precopulatory sexual cannibalism in fishing spiders (*Dolomedes triton*): a role for behavioral syndromes [J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 2005, 58(4): 390-396.

- [36] BELL A M. Behavioural differences between individuals and two populations of stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) [J]. *Journal of Evolutionary Biology*, 2005, 18(2): 464-473.
- [37] BELL A M, SIH A. Exposure to predation generates personality in threespined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) [J]. *Ecology Letters*, 2010, 10(9): 828-834.
- [38] DINGEMANSE N J, PLAS F V D, WRIGHT J, et al. Individual experience and evolutionary history of predation affect expression of heritable variation in fish personality and morphology [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2009, 276(1660): 1285-1293.
- [39] WONE B, SEARS M W, LABOCHA M K, et al. Genetic variances and covariances of aerobic metabolic rates in laboratory mice [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2009, 276(1673): 3695-3704.
- [40] AUER S K, BASSAR R D, SALIN K, et al. Repeatability of metabolic rate is lower for animals living under field versus laboratory conditions [J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2016, 219(5): 631-63.

Animal Sciences

Effects of Starvation on Resting Metabolic Rate and Personality Behavior of Juvenile *Carassius auratus*

LING Hong, ZENG Lingqing

(Laboratory of Evolutionary Physiology and Behavior, Key Laboratory of Animal Biology of Chongqing, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] The aim is to investigate the effects of starvation on phenotypic traits (energy metabolism and personality behavior) of the juvenile *Carassius auratus*. [Methods] In order to address this goal, a wide artificial feeding omnivorous juvenile *C. auratus* was used as the experimental object and resting metabolic rate for (RMR) of 60 individuals was measured at $(25.0 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$. 30 individuals out of this 60 individuals were selected as the experimental fish. Their morphological parameters and personality behaviors were measured (Boldness and Aggressive, Test I), and after two weeks of starvation, their RMR, morphological parameters, and personality behaviors were measured again (Test II). [Findings] The results showed that: the body weight and condition factor of experimental fishes were significantly reduced after starvation, but no effects on RMR boldness and aggressive were detected except bite times. The RMR and morphological parameters of juvenile *C. auratus* had repeatabilities, but the repeatability of individual behavior is lower as a whole. Whatever in the test I or test II, there were no relationships between RMR and personality behavior. However, the relationships among different personality behaviors parameters were not affected by starvation. [Conclusions] It suggested that the RMR and morphological characteristics of juvenile *C. auratus* are still relatively repetitive in the starvation environment, and the starvation stress does not increase the boldness and aggressive.

Keywords: resting metabolic rate; personality behavior; phenotypic; fitness; *Carassius auratus*

(责任编辑 方 兴)