

体型大小和营养状况对中华倒刺鲃幼鱼群体选择偏好的影响*

肖玲韬, 樊捷, 郑宇辉, 付世建

(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】探究不同体型大小和营养状况的中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)幼鱼的群体选择偏好。【方法】将实验鱼分为大、小个体组以及摄食组和饥饿组(分别进行正常投喂和14 d的禁食处理)。测定目标实验鱼的游泳速度、移动总距离、运动时间比等游泳行为参数以及它对不同大小或营养状况鱼群的选择偏好。【结果】1) 大个体组目标实验鱼在相对游泳速度中值和移动总距离值上均高于小个体的目标实验鱼, 差异均具有统计学意义($p < 0.05$); 无论目标实验鱼体型如何, 它们均倾向于选择大个体的刺激鱼群, 有关统计学检验结果具有统计学意义($p < 0.05$)。2) 饥饿组和摄食组目标实验鱼的所有游泳行为参数及它们对饥饿和正常摄食鱼群的选择偏好差异均无统计学意义。【结论】大个体中华倒刺鲃幼鱼在游泳能力方面强于小个体中华倒刺鲃幼鱼; 不同个体大小中华倒刺鲃幼鱼均偏好选择大个体鱼组成的鱼群, 这可能有利于降低自身被捕食的风险。短期的饥饿处理所产生的营养状况差异不足以使中华倒刺鲃幼鱼的游泳能力及对鱼群的选择偏好发生明显变化。

关键词: 中华倒刺鲃; 选择偏好; 饥饿; 体型大小

中图分类号: Q178.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2022)03-0035-07

自然界中动物个体聚集成群、相互合作的行动被称作集群行为, 它是动物在长期自然选择中逐渐进化形成的生存策略, 也是鱼类重要的行为策略^[1]。社会性生物的个体经常面临着在遭遇不同的群体时选择加入某个特定群体的问题^[2], 个体决定加入哪个群体是由多种因素共同决定的。关于群体生活的生态学意义已有大量研究, 且这些研究结果表明群体生活具有明显的优势, 具体表现为群体生活可以降低个体被捕食的风险^[3-6]和提高觅食成功率^[7-8]。然而, 群体生活也会出现资源分配问题, 导致种内竞争加剧, 还会增加个体感染寄生虫的风险。

体型大小经常被鱼类个体作为区分同类的重要信息, 许多鱼类倾向于根据体型大小形成鱼群^[9], 即鱼类似乎更偏好和体型大小与自己相似的鱼类聚集在一起^[10-14]。然而在某些时候, 较小的个体会更愿意选择大体型的同种鱼类, 例如雌性斑孔雀鱼(*Poecilia reticulata*)无论自身体型如何, 都更倾向于选择与大体型同类组成集群^[15]。这是因为在数量相等的情况下, 体型较大的鱼会占据更大的空间, 使鱼群看上去规模更大, 这些收益能够抵消大小鱼混合群体带来的潜在代价。

除体型之外, 鱼类的生理状况和环境条件均可能对鱼群的选择偏好产生重要影响^[16]。食物资源是鱼类赖以生存的重要环境因子, 它的变化对鱼体的生理状况会产生影响。当食物资源匮乏时, 鱼类的行为策略可能发生改变^[17-19], 例如: 在饥饿状态下, 鲱(*Clupea harengus*)的觅食活动增加会导致群体凝聚力越弱^[20]。而有关三刺鱼(*Gasterosteus aculeatus*)的研究则发现: 由于食物资源竞争加剧, 与饥饿的同类相比, 饱食的个体会选择加入较大的鱼群^[21]。上述行为策略的改变不可避免地会增加鱼类被捕食的风险。鱼类选择与自身营养状况相同还是不同的同类组成鱼群, 将对鱼类的生态收益和代价产生重要影响, 然而目前相关研究却较为少见。

中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)为鲤形目(Cypriniformes)鲤科(Cyprinidae)鲃亚科(Barbinae)倒刺鲃属(*Spinibarbus*)鱼类^[22], 广泛分布于长江流域, 喜好集群。由于中华倒刺鲃栖息地环境差异较大, 因此该鱼种的食物资源也经常存在剧烈波动^[23], 同时中华倒刺鲃在幼鱼阶段被捕食的风险也很高^[24]。本研究以中华倒刺鲃幼鱼为研究对象, 考察不同体型大小和饥饿状态实验鱼的群体选择偏好, 以便为鱼类行为学研究提供更加丰富

* 收稿日期: 2021-07-01 修回日期: 2021-07-12 网络出版时间: 2022-05-17 16:45

资助项目: 国家自然科学基金(No. 31670418); 重庆市教育委员会科学技术研究项目(No. KJQN201900540)

第一作者简介: 肖玲韬, 女, 研究方向为鱼类行为学, E-mail: 3320488@qq.com; 通信作者: 付世建, 男, 教授, 博士, E-mail: shijianfu9@hotmail.com

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20220516.1814.026.html>

的参考资料。

1 材料与方法

1.1 实验鱼的来源与驯养

中华倒刺鲃幼鱼(体质量为 2.5~5.5 g, 样本个数 $n=1\ 000$)于 2020 年 8 月购自重庆市永川人工养殖基地。将实验鱼放入实验室自净化循环控温养殖系统(规格为 1 m×2 m×0.5 m)中驯养 14 d。驯养水温为 $(25\pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$, 溶氧量维持在 $7\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上。驯养期间于每日 9:00 使用商业颗粒饲料对实验鱼进行饱足投喂 1 次, 投喂 0.5 h 后用虹吸管清除残饵与粪便并换水, 每日换水量约为驯养水体体积的 20%, 光周期为 12 h 光照: 12 h 黑暗。

1.2 实验装置及行为测定方法

1.2.1 实验装置 如图 1 所示, 实验鱼行为测定装置主体为 1 个由透明有机玻璃制成的长方形水槽(长×宽×高为 75 cm×35 cm×35 cm)。水槽外壁贴上白色不透明广告纸, 用以隔绝外界环境对实验鱼的影响。水槽内部被两块透明有机玻璃板划分为 3 个区域, 其中: A、B 两区为刺激区, 长度均为 15 cm, 在进行实验鱼的行为测定时会在这两区内分别放入相应的刺激鱼群; C 区为实验区, 长度为 45 cm, 该区中间放置 1 个透明的圆柱形有机玻璃适配器。同时采用 4 个相同的行为测定装置进行正式实验。

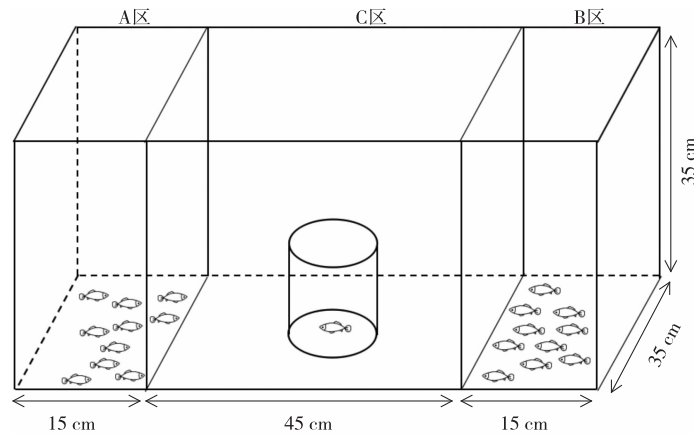


图 1 中华倒刺鲃幼鱼行为测定装置示意图

Fig. 1 The sketch map of behavior measurement device of juvenile *S. sinensis*

1.2.2 实验方案 实验鱼驯养结束后, 挑选其中身体健康的个体分为大个体组和小个体组, 每组各 100 尾实验鱼, 它们的体长和体质量数据见表 1。同时, 选取体长和体质量接近的实验鱼随机分为饥饿组和摄食组, 每组各 100 尾实验鱼。

表 1 实验鱼个体形态参数

Tab. 1 The morphological parameters of experimental fish

实验系列	组别	目标实验鱼		刺激鱼群	
		体质量/g	体长/cm	体质量/g	体长/cm
实验一	大个体组	8.50±0.18	7.58±0.07	8.18±0.12	7.55±0.04
	小个体组	3.35±0.07	5.50±0.09	2.75±0.08	5.35±0.05
实验二	摄食组	4.15±0.15	6.12±0.07	4.25±0.09	6.16±0.04
	饥饿组	4.19±0.11	6.18±0.05	4.10±0.08	6.14±0.04

1) 实验一: 中华倒刺鲃幼鱼对体型大小的选择偏好。在挑选出来的实验鱼中随机选取大、小个体各 40 尾作为刺激鱼群, 每 10 尾 1 组分别放入 4 个相同规格行为测定装置的 A 区或 B 区作为刺激鱼群, 且大、小个体刺激鱼群位于不同刺激区的比例各占 50%, 以避免实验鱼的选择受到刺激鱼群所在方位的影响。实验开始时, 将单

尾目标实验鱼放入C区适配器中适应2 min,待适应完成后快速轻柔地拿出适配器,立即拍摄,获得连续拍摄20 min、帧率为15 帧·s⁻¹的目标实验鱼行为视频。对大个体组和小个体组的目标实验鱼各进行30组行为观测,即30个重复,每尾目标实验鱼不重复使用。为避免适配器的取出对实验鱼的行为造成影响,只选取所拍摄视频的后15 min部分用于实验鱼行为轨迹的分析。用“格式工厂”软件将拍摄视频由“.wmv”格式转码为“.avi”格式,转换格式后的视频帧率仍为15 帧·s⁻¹后,导入轨迹追踪软件idtracker对视频进行分析,提取目标实验鱼的实时坐标,并根据实时坐标计算目标实验鱼在C区的相关行为学参数。因视频拍摄时可能出现了目标实验鱼与刺激鱼群过于靠近或外界光照不适于拍摄的问题,本实验中有3个重复未能提取到实验鱼的行为轨迹。

2) 实验二:中华倒刺鲃幼鱼对营养状况的选择偏好。在行为测定开始之前提前14 d对饥饿组的100条鱼进行禁食处理,摄食组的投喂状况则与前期驯养条件相同。随后从饥饿组和摄食组随机各选取40尾实验鱼作为刺激鱼群。除饥饿组和摄食组目标实验鱼的行为观测重复均调整为20个以外,其余操作均与实验一相同。

1.3 数据处理

1.3.1 行为学参数计算 1) 目标实验鱼在C区的游泳速度(V ,单位:cm·s⁻¹)计算公式为:

$$V = \frac{\sqrt{(x_t - x_{t-1})^2 + (y_t - y_{t-1})^2}}{d}$$

其中: x_t 和 x_{t-1} 分别为目标实验鱼在 t 和 $t-1$ 时刻的横坐标数值; y_t 和 y_{t-1} 分别为单尾鱼实验鱼在 t 和 $t-1$ 时刻的纵坐标数值; d 为一帧图像转换到下一帧图像的时间间隔,在本研究中为0.067 s。用以上公式计算出目标实验鱼在上述各个时间间隔的游泳速度,取中值,即为该目标实验鱼的游泳速度中值。

2) 目标实验鱼拍摄时在C区移动的距离之和即为移动总距离(D ,单位:cm),该参数的计算公式为:

$$D = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$$

其中: x_{i+1} 和 x_i 分别为目标实验鱼在第 $i+1$ 和第 i 帧图像中的横坐标数值; y_{i+1} 和 y_i 分别为目标实验鱼在第 $i+1$ 和第 i 帧图像中的纵坐标数值; n 表示视频总帧数(13 500 帧)。

3) 运动时间比(Percent time moving, P_{TM})指目标实验鱼处于游泳速度大于1.75 cm·s⁻¹状态的时间占整个观察时间的百分比,计算公式为:

$$P_{TM} = \frac{T_2}{T_1} \times 100\%$$

其中: T_1 表示观察时间,本研究中为15 min; T_2 表示目标实验鱼处于游泳速度大于1.75 cm·s⁻¹状态的时间。

4) 目标实验鱼距离刺激鱼群距离(D' ,单位:cm)计算公式为:

$$D' = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2}}{n}$$

其中: x_{i+1} 和 x_i 分别为目标实验鱼在第 $i+1$ 和第 i 帧图像中的横坐标数值; n 表示视频总帧数(13 500 帧)。

5) 偏好刺激鱼群比例(P_p)计算公式为:

$$P_p = \frac{N}{n} \times 100\%$$

其中: N 为目标实验鱼在偏好区即距离刺激鱼群隔板的距离小于15 cm处停留的图像帧数; n 表示视频总帧数(13 500 帧)。

1.3.2 统计分析 实验数据均以“平均值±标准误”表示,经Excel 2007软件进行常规计算后,采用SPSS 22.0软件进行统计分析。目标实验鱼自发游泳行为的游泳速度中值和运动时间比因不符合正态分布,故使用非参数Mann-Whitney U检验分析;总移动距离则使用独立样本 t 检验进行分析;目标实验鱼距刺激鱼群距离和偏好刺激鱼群比例使用混合线型模型进行分析,以体质量为协变量。当 $p < 0.05$ 时,有关统计结果具有统计学意义。

2 结果

2.1 目标实验鱼自发游泳行为特征

由表2可知:大个体组目标实验鱼在游泳速度中值上比小个体组目标实验鱼更高,两者差异具有统计学意

义($p < 0.05$);大个体组目标实验鱼的移动总距离比小个体组目标实验鱼的移动总距离更长,两者差异具有统计学意义($p < 0.05$)。此外,大个体组和小个体组目标实验鱼的运动时间比无统计学意义上的差异;摄食组和饥饿组的游泳速度中值、移动总距离和运动时间比均无统计学意义上的差异。

表 2 目标实验鱼自发游泳行为特征比较

Tab. 2 Comparison of spontaneous swimming behavior characteristics of target experimental fish

自发游泳行为特征参数	实验一			实验二		
	大个体组	小个体组	统计值	摄食组	饥饿组	统计值
游泳速度中值/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	2.49 ± 0.13	2.14 ± 0.10	$t_{52} = 2.103,$ $p = 0.040^*$	2.77 ± 0.13	2.53 ± 0.08	$Z_{38} = -1.461,$ $p = 0.149$
移动总距离/cm	$1\ 449.0 \pm 74.30$	$1\ 260.0 \pm 54.40$	$t_{52} = 2.052,$ $p = 0.045^*$	$1\ 637.99 \pm 82.97$	$1\ 616.07 \pm 46.76$	$t_{38} = -0.224,$ $p = 0.824$
运动时间比/%	63.22 ± 2.63	56.83 ± 2.12	$t_{52} = 1.891,$ $p = 0.064$	67.76 ± 2.43	66.56 ± 1.20	$Z_{38} = -1.014,$ $p = 0.314$

注: * 表示统计结果具有统计学意义($p < 0.05$)

2.2 目标实验鱼群选择偏好

表 3、图 2 显示,不同大小个体的目标实验鱼对刺激鱼群的选择存在明显差异:无论是大个体还是小个体的目标实验鱼,它们都更倾向于选择大个体的刺激鱼群,有关统计学检验结果具有统计学意义($p < 0.05$)。然而,营养状态不同的目标实验鱼对刺激鱼群的选择无统计学意义上的差异(表 3、图 3)。

表 3 实验处理鱼群偏好线性混合模型统计表

Tab. 3 Statistical table of the linear mixed model of fish preference in the present study

参数	实验一			实验二		
	目标实验鱼影响	刺激鱼群影响	交互作用	目标实验鱼影响	刺激鱼群影响	交互作用
距刺激鱼群距离	$F_{1,104} = 0.000,$ $p = 1.000$	$F_{1,104} = 136.536,$ $p < 0.001^*$	$F_{1,104} = 1.472,$ $p = 0.228$	$F_{1,76} = 0.000,$ $p = 1.000$	$F_{1,76} = 0.963,$ $p = 0.329$	$F_{1,76} = 0.974,$ $p = 0.327$
偏好刺激鱼群比例	$F_{1,104} = 0.255,$ $p = 0.614$	$F_{1,104} = 248.980,$ $p < 0.001^*$	$F_{1,104} = 1.207,$ $p = 0.275$	$F_{1,76} = 0.070,$ $p = 0.792$	$F_{1,76} = 2.658,$ $p = 0.107$	$F_{1,76} = 3.578,$ $p = 0.062$

注: * 表示两个刺激鱼群之间数据差异具有统计学意义($p < 0.05$),下同

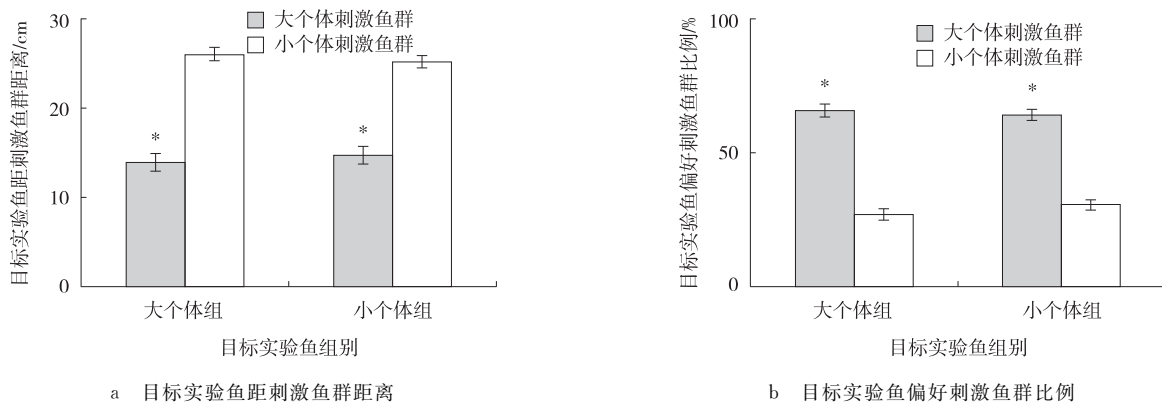


图 2 中华倒刺鲃幼鱼对相同或不同体型大小刺激鱼群的偏好

Fig. 2 The preference of juvenile *S. sinensis* to the same or unequal body size stimulation fish shoals

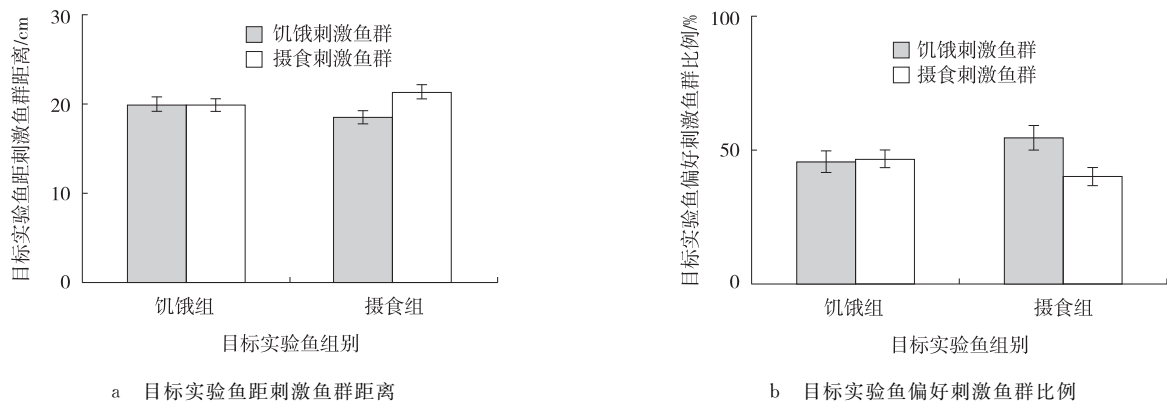


图3 中华倒刺鲃幼鱼对饥饿或摄食刺激鱼群的偏好

Fig. 3 The preference of juvenile *S. sinensis* to either starved or normal-fed stimulus fish shoals

3 讨论与结论

体长是影响鱼类游泳能力的重要因素^[25]。鱼的体型越大意味着体表面积和肌肉体积就越大,因而游泳速度就越快^[26]。本研究中,大个体目标实验鱼相对于小个体目标实验鱼而言,游泳速度更快,移动总距离更长,但是二者的运动时间比没有明显差异。以前的研究发现:饥饿状态下鱼类可能因为觅食需求的压力而加强游泳行为^[27],但本研究中饥饿组和摄食组的目标实验鱼的游泳速度并没有表现出明显差异。这可能与实验测定装置大小等环境条件有关;也可能是因为14 d的禁食时间相对较短,不会导致实验鱼游泳行为发生明显变化。

本研究中,不同体型大小的目标实验鱼都会更倾向于选择大个体的刺激鱼群,这可能与大个体鱼组成的鱼群比小个体鱼组成的鱼群更容易被发现有关,从而导致目标实验鱼偏好选择大个体的鱼群^[7]。还有一个原因可能是在大个体鱼群与小个体鱼群的鱼数量相等的情况下,大个体的鱼群占据的空间比小个体的鱼群更大,在视觉上会令大个体的鱼群看起来鱼的数量更多,而更大的鱼群显然可以有效地降低捕食风险^[28],因此大、小个体组的目标实验鱼都会更偏好与大个体的刺激鱼群待在一起。值得一提的是,有研究表明斑孔雀鱼的捕食者更喜欢体型较大的雌性猎物而不是体型较小的雄性猎物^[29]。假设中华倒刺鲃的捕食者也有类似的偏好,那么小个体目标实验鱼加入大个体刺激鱼群的选择偏好将有利于它们利用捕食者的觅食偏好来降低被捕食风险。

不同营养状况的鱼类在觅食需求、运动能力等诸多方面存在差异,因此它们选择与自身营养状况相同或相异的同类组成群体可能产生重要的生态学影响^[30]。然而,本研究结果显示饥饿组和摄食组的目标实验鱼对于不同营养状况的刺激鱼群不存在明显的选择偏好。这可能与本研究所采用的目前常规的群体选择行为观测装置体积较小^[7,13,21,28]有关,因而目标实验鱼可能无法有效识别饥饿或摄食刺激鱼群在装置中游泳行为的细微差异。另外,由于14 d的禁食时间过短,实验鱼游泳行为没有发生明显变化,所以目标实验鱼对饥饿和摄食刺激鱼群没有选择偏好。

综上所述,本研究结果提示:大个体的中华倒刺鲃幼鱼的游泳能力比小个体的中华倒刺鲃的游泳能力更强。不同个体大小的中华倒刺鲃幼鱼都更倾向于选择大个体鱼组成的鱼群,这可能有利于降低自身被捕食的风险。短期的饥饿处理所产生的营养状况差异不足以使中华倒刺鲃幼鱼的游泳能力及对鱼群的选择偏好发生明显变化。

参考文献:

- [1] 王蕾,唐金玉,覃英莲,等. 饥饿对中华倒刺鲃幼鱼代谢、个性和集群的影响[J]. 生态学报,2019,39(3):1095-1104.
WANG L, TANG J Y, QIN Y L, et al. Effect of starvation on energy metabolism, fish behavior, and schooling behavior of *Spinibarbus sinensis*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(3):1095-1104.
- [2] ALLAN J R, PITCHER T J. Species segregation during predator evasion in cyprinid fish shoals[J]. Freshwater Biology, 2010, 16(5):653-659.
- [3] FOSTER W A, TREHERNE J E. Evidence for the dilution effect in the selfish herd from fish predation on a marine insect[J]. Nature, 1981, 293:466-467.

- [4] TURNER G F, PITCHER T J. Attack abatement: a model for group protection by combined avoidance and dilution[J]. *The American Naturalist*, 1986, 128(2): 228-240.
- [5] BOLAND C R J. An experimental test of predator detection rates using groups of free-living emus[J]. *Ethology*, 2003, 109(3): 209-222.
- [6] ELGAR M A. Predator vigilance and group size in mammals and birds: a critical review of the empirical evidence[J]. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 1989, 64(1): 13-33.
- [7] JONES K A, CROFT D P, RAMNARINE I W, et al. Size-assortative shoaling in the guppy (*Poecilia reticulata*): The role of active choice[J]. *Ethology*, 2010, 116(2): 147-154.
- [8] CARO T. Antipredator defenses in birds and mammals[M]. Chicago: University of Chicago Press, 2005.
- [9] KRAUSE J, GODIN J J, BROWN B. Phenotypic variability within and between fish shoals[J]. *Ecology*, 1996, 77(5): 1586-1591.
- [10] PITCHER T J, MAGURRAN A E, EDWARDS J I. Schooling mackerel and herring choose neighbours of similar size[J]. *Marine Biology*, 1985, 86(3): 319-322.
- [11] RANTA E, LINDSTRÖM K, PEUHKURI N. Size matters when three-spined sticklebacks go to school[J]. *Animal Behaviour*, 1992, 43(1): 160-162.
- [12] RANTA E, JUVONEN S K, PEUHKURI N. Further evidence for size-assortative schooling in sticklebacks[J]. *Journal of Fish Biology*, 1992, 41(4): 627-630.
- [13] KRAUSE J, GODIN J J. Shoal choice in the banded killifish (*Fundulus diaphanus*, Teleostei, Cyprinodontidae): Effects of predation risk, fish size, species composition and size of shoals[J]. *Ethology*, 1994, 98(2): 128-136.
- [14] PITCHER T J, MAGURRAN A E, ALLAN J R. Size-segregative behaviour in minnow shoals[J]. *Journal of Fish Biology*, 1986, 29(sA): 83-95.
- [15] JONES K A, CROFT D P, RAMNARINE I W, et al. Size-assortative shoaling in the guppy (*Poecilia reticulata*): the role of active choice[J]. *Ethology*, 2010, 116(2): 147-154.
- [16] RODGERS G M, WARD J R, ASKWITH B, et al. Balancing the dilution and oddity effects: decisions depend on body size[J]. *PLOS One*, 2011, 6(7): e14819.
- [17] 吴青怡. 饥饿和捕食胁迫对中华倒刺鲃幼鱼行为策略的影响[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2016.
WU Q Y. The effect of starvation and predation on the behavior strategy of qingbo juvenile[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2016.
- [18] 覃英莲, 彭韩柳依, 付世建. 饥饿对捕食者鱼和猎物鱼快速启动游泳能力及捕食-逃逸行为的影响[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(9): 2429-2434.
QIN Y L, PENG HAN L Y, FU S J. Effects of food deprivation on fast-start swimming and predator-prey interaction between a predator and prey fish species[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(9): 2429-2434.
- [19] KILLEN S S, FU C, WU Q Y, et al. The relationship between metabolic rate and sociability is altered by food deprivation[J]. *Functional Ecology*, 2016, 30(8): 1358-1365.
- [20] ROBINSON C J, PITCHER T J. Hunger motivation as a promoter of different behaviours within a shoal of herring: selection for homogeneity in fish shoal?[J]. *Journal of Fish Biology*, 1989, 35(3): 459-460.
- [21] BARBER I, HUNTINGFORD F A, CROMPTON D W T. The effect of hunger and cestode parasitism on the shoaling decisions of small freshwater fish[J]. *Journal of Fish Biology*, 1995, 47(3): 524-536.
- [22] 付翔, 付成, 付世建. 五种淡水鱼类幼鱼游泳能力的比较[J]. *生态学杂志*, 2020, 39(5): 1629-1635.
FU X, FU C, FU S J. Comparison of swimming ability among five freshwater fishes[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39(5): 1629-1635.
- [23] CROFT D P, JAMES R, THOMAS P O R, et al. Social structure and co-operative interactions in a wild population of guppies (*Poecilia reticulata*) [J]. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2006, 59(5): 644-650.
- [24] 刘胜, 付世建. 不同营养水平下中华倒刺鲃觅食和隐匿行为间的权衡[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 34(5): 32-37.
LIU S, FU S J. The trade-off effect between foraging behavior and shelter use in a Qingbo with different nutritional statuses [J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2017, 34(5): 32-37.
- [25] KATOPODIS C, CAI L, JOHNSON D. Sturgeon survival: the role of swimming performance and fish passage research[J]. *Fisheries Research*, 2019, 212: 162-171.
- [26] 蔡露, 侯轶群, 金瑶, 等. 鱼游泳能力对体长的响应及其在鱼道设计中的应用[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(5): 209-215.

- CAI L, HOU Y Q, JIN Y, et al. Response of fish swimming ability to body length and its application in fishway design[J]. Transactions of the CSAE, 2021, 37(5): 209-215.
- [27] HANSEN M J, LIGOCKI I Y, ZILLIG K E, et al. Risk-taking and locomotion in foraging threespine sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*): the effect of nutritional stress is dependent on social context[J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 2020, 74(1): 1-12.
- [28] HAGER M C, HELFMAN G S. Safety in numbers: shoal size choice by minnows under predatory threat[J]. Behavioral Ecology and Sociobiology, 1991, 29(4): 271-276.
- [29] POCKLINGTON R, DILL L M. Predation on females or males: who pays for bright male traits?[J]. Animal Behaviour, 1995, 49(4): 1122-1124.
- [30] KRAUSE J, HARTMANN N, PRITCHARD V L. The influence of nutritional state on shoal choice in zebrafish, *Danio rerio* [J]. Animal Behaviour, 1999, 57(4): 771-775.

Animal Sciences

Effect of Body Size and Nutritional Status on Shoal Selection Preference of Juvenile *Spinibarbus sinensis*

XIAO Lingtao, FAN Jie, ZHENG Yuhui, FU Shijian

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

Abstract: [Purposes] To explore the shoal selection preference of juvenile *Spinibarbus sinensis* to different body size and nutritional status. [Methods] The experimental fish were divided into either large vs small body size groups or normal feeding vs starvation treatment groups (respectively given normal feeding and fasting for 14 days). Swimming behavior parameters such as swimming speed, total moving distance, exercise time ratio, etc. of the target experimental fish were determined, as well as its preference for fish groups of different sizes or nutritional status. [Findings] 1) The median swimming speed and total moving distance of the target fish with larger body sizes were significantly higher than those with small body sizes, and the differences were statistically significant ($p < 0.05$), however, the target fish of both body sizes were more inclined to choose the larger body size stimulus shoals, and the relevant statistical test results are statistically significant ($p < 0.05$). 2) There were no statistically significant differences in all measured variables of swimming behavior of target fish as well as the shoal selection preference between the starvation treatment group and the normal feeding group. [Conclusions] The swimming ability of large individual fish is stronger than those of small body size fish. However, the experimental fish of both larger and smaller body sizes are more inclined to choose the larger body size shoal possibly due to the decreased predation risk stayed with large shoals. Short-term starvation treatment did not result in a significant change in the nutritional status of the juveniles' swimming ability and fish selection preference.

Keywords: *Spinibarbus sinensis*; choice preference; starvation; body size

(责任编辑 方兴)