

德玛森小岩鲷个性与觅食速率之间的关联*

郑世龙, 张雨林, 周寄莹, 付世建, 付成

(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: 鱼类通过觅食获取机体所必需的营养物质。个性可能对鱼类的觅食速率产生重要影响,但目前二者之间的关联仍存在较大的不确定性。以德玛森小岩鲷(*Chindongo demasonis*)为实验对象,分别测定活跃性、攻击性、探索性和社会性,以及在空间探索觅食实验和控制抑制觅食实验中的觅食速率,并分析了不同个性特征之间的关联以及个性对觅食速率的影响。结果显示:德玛森小岩鲷的活跃性与探索性、攻击性均呈统计学意义上的正相关关系($p < 0.05$),探索性与社会性呈统计学意义上的负相关关系($p < 0.05$);空间探索觅食实验中实验鱼首次出适应装置的历时、首次进入食物区历时和首次摄食历时均与活跃性呈统计学意义上的负相关关系($p < 0.05$),控制抑制觅食中首次摄食历时与攻击性呈统计学意义上的正相关关系($p < 0.05$),表明较活跃的个体在空间探索觅食实验中完成觅食活动所需时间更短、觅食速率更高,而个性会对鱼类的觅食速率产生重要影响。研究提示活跃性较强的个体觅食动机更强烈,且探索空间能力也更强;攻击性较强的个体控制抑制的能力较弱,需要花费更长的时间完成觅食活动。

关键词: 活跃性; 慈鲷; 空间探索觅食; 控制抑制觅食; 摄食

中图分类号: Q958.8

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2024)06-0027-09

个性是指动物个体在种内水平表现出来的稳定且可重复的行为差异^[1]。鱼类的个性包括活跃性、探索性、攻击性和社会性等^[2-4]。活跃性是指鱼类在不受外界环境刺激条件下的自发运动状态,与觅食、繁殖等密切相关^[5-6]。探索性是指鱼类探索新异环境(如新的空间、食物或新奇物体)的行为反应^[7]。攻击性又称好斗性,是指鱼类对其他个体的好斗或竞争行为反应^[2],这类行为常见于食物资源竞争、配偶竞争、领域防卫等^[7]。社会性是指除了攻击性以外,鱼类个体与同伴之间寻求相互交流的一种亲密表现^[8],社会性较强的个体通常更喜欢与同伴合作解决问题^[11]。研究发现,鱼类的个性特征在一定时间内具有很好的稳定性^[1],且不同的个性行为之间可能存在关联进而形成行为组合,即“行为综合征”(behavioral syndromes)^[12-14]。例如,褐鲈(*Salmo trutta*)的探索性与攻击性具有正相关关系^[15]。

鱼类通过觅食为机体的能量代谢和各种日常生命活动提供能量和营养物质^[16-17]。但觅食活动会耗费大量时间,觅食期间警惕性的降低可能会加大被捕食的风险^[18]。因此觅食速率对鱼类而言至关重要。鱼类的个性行为可能会对觅食速率产生影响,例如活跃性、探索性较强的个体可能因为活动区域更大,更易发现食物^[19]。同样,攻击性和社会性也可能会影响鱼类的觅食速率,因为攻击性和社会性较强可能会导致鱼类个体在社会交互活动中花费更多精力,进而减少觅食活动中的能量支出,对觅食产生不利影响^[20]。目前关于鱼类个性特征之间关联的研究较多^[12-15, 21-22],而关注个性的生态学效应(ecological consequences)的研究相对较少^[19],尤其缺乏鱼类个性与觅食速率关联的系统性研究,使得研究者对个性如何影响鱼类觅食速率的理解仍然不足。

德玛森小岩鲷(*Chindongo demasonis*)隶属慈鲷科(Cichlidae)小岩鲷属(*Chindongo*),是鱼类行为学研究的理想材料^[23-24]。本研究主要通过考查德玛森小岩鲷不同个性行为之间的关联以及个性对觅食速率的影响,为鱼类行为生态学的相关研究提供基础资料。

* 收稿日期:2024-02-23 修回日期:2024-03-18 网络出版时间:2024-12-25T15:41

资助项目:国家自然科学基金——青年科学基金项目(No. 31700340),面上项目(No. 32370509);重庆市自然科学基金面上项目(No. cstc2021jcyj-msxmX0835)

第一作者简介:郑世龙,男,研究方向为鱼类生理生态与行为学, E-mail: 2041544549@qq.com;通信作者:付成,男,副教授,博士, E-mail: chengfu@cqnu.edu.cn

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/50.1165.n.20241225.1007.008>

1 材料与方法

1.1 实验鱼的来源与驯养

实验用德玛森小岩鲷购于重庆市当地水族馆。实验鱼购回后,按每 10 尾放入 1 个长×宽×高为 33 cm×18 cm×20 cm 养殖系统中的比例进行 14 d 以上的驯养。在驯养过程中使用气泵不断地往水中注入空气以维持水中溶解氧水平始终接近饱和。水体温度控制在 $(25\pm1)^{\circ}\text{C}$,日换水量约为驯养水体体积的 10%。光周期设定为光照和黑暗各 12 h。驯养期间每日 9:00 使用解冻后的红线虫(*Limnodrilus hoffmeisteri*)对实验鱼进行 1 次饱足投喂,待实验鱼进食完成后使用渔网和虹吸管将食物残渣、粪便排出以保持水体的清洁。

1.2 实验设计

驯养结束后,选取 28 尾健康状况良好、体质量为 (1.23 ± 0.25) g、体长为 (3.83 ± 0.26) cm 的实验鱼进行实验,使用含 $80\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ MS-222 的麻醉剂将实验鱼麻醉,然后使用荧光染料进行体外标记,用于实验鱼的个体识别。待实验鱼恢复 14 d 后,使用实验室自行设计的个性行为测定装置对实验鱼进行个性行为的测定,包括活跃性、探索性、攻击性和社会性。测定完成后分别通过空间探索觅食实验和抑制控制觅食实验测定实验鱼的觅食速率。所有实验均在 25°C 条件下进行。

1.3 实验参数测定

1.3.1 个性行为的测定

实验鱼活跃性、探索性和攻击性行为的观测装置是 1 个长×宽×高为 50 cm×35 cm×35 cm 的矩形实验水槽(图 1a~c),社会性行为的观测装置是 1 个长×宽×高为 70 cm×35 cm×35 cm 的矩形实验水槽(图 1d)。这些观测装置均由透明有机玻璃板组合而成,底部和四周被白色广告纸(图 1 灰色部分)覆盖,以隔绝外部环境干扰,并增加实验鱼与背景环境的对比度,方便后续视频分析。实验鱼的个性行为拍摄由 1 个置于观测装置正上方且与计算机连接的罗技 Pro 9000 型高清摄像头完成。

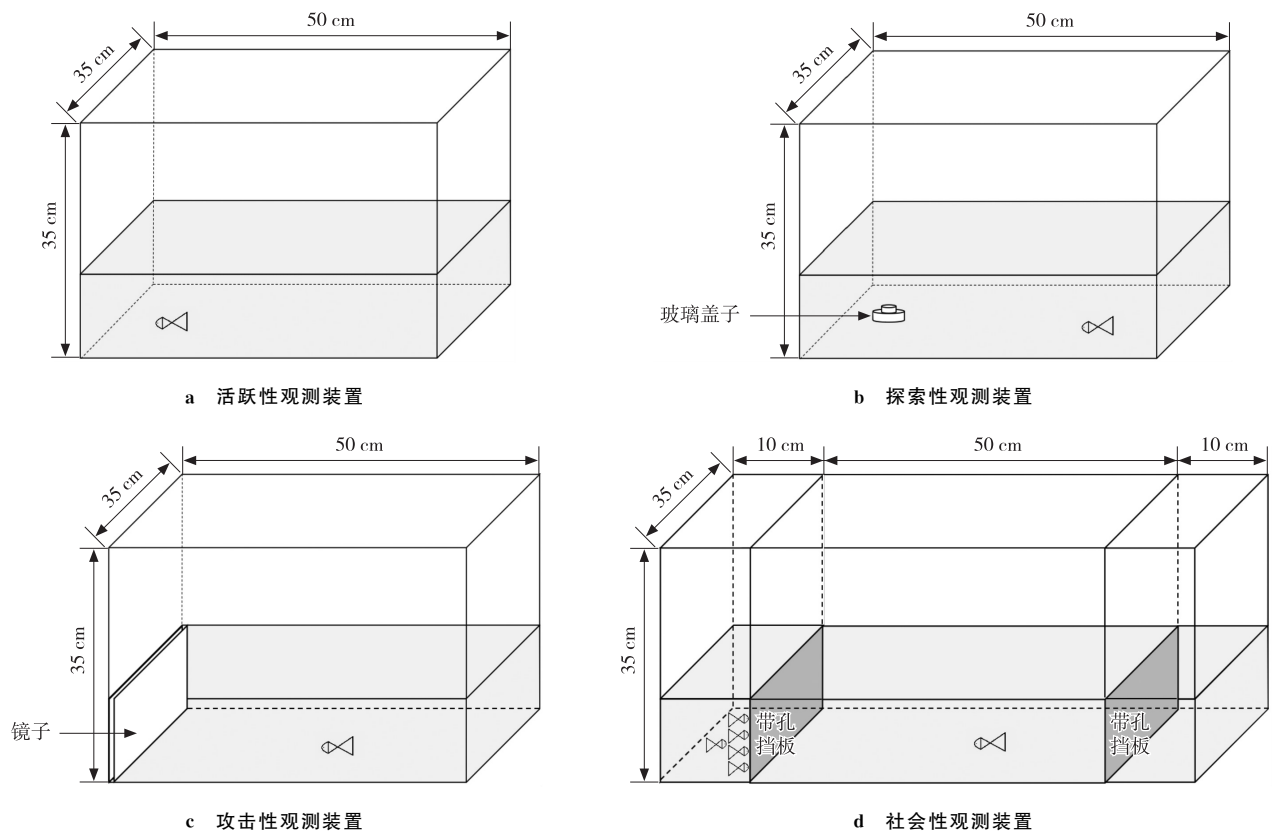


图 1 个性特征测定装置

Fig. 1 The structure of the devices used to measure personality

活跃性行为观测装置的水深 10 cm,将单尾实验鱼转移至装置中,适应 10 min^[25]。适应完成后打开摄像头记录实验鱼的活跃性,持续拍摄 20 min。随后通过荷兰 Noldus 公司生产的动物运动轨迹跟踪软件 EthoVision XT 9.0 对视频进行分析。活跃性的指标包括平均速度(单位:cm·s⁻¹)和运动时间比。运动时间比是实验鱼运动时间与总拍摄时间的比值,其中运动状态的判断标准为实验鱼质心的移动速度大于 1.75 cm·s⁻¹^[26]。

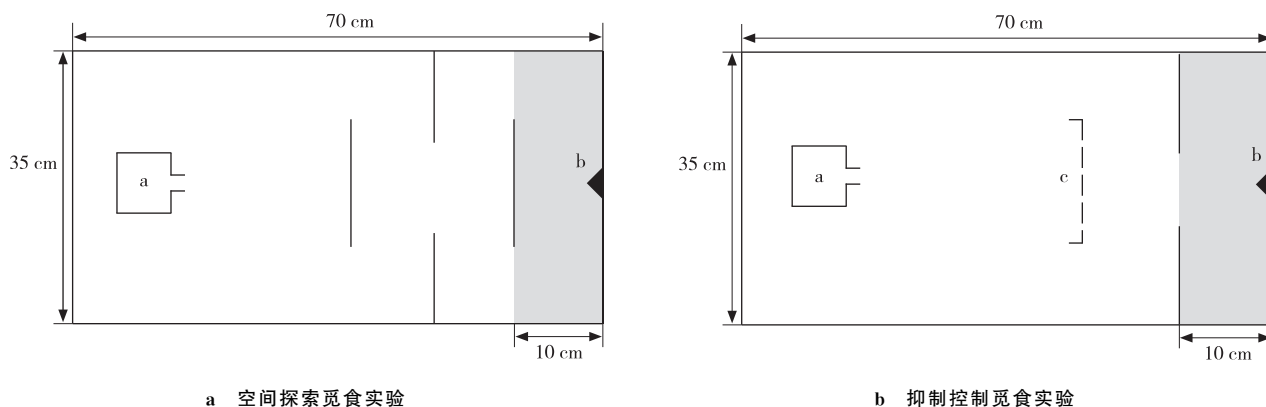
探索性行为观测装置与活跃性观测装置相同,装置内水深为 10 cm,但在该装置一侧放入 1 个实验鱼未见过的物体即玻璃盖子(图 1b),待实验鱼适应 10 min 后,持续拍摄 20 min,记录实验鱼对新奇物体的探索行为,即为探索性。实验鱼距离新奇物体 5 cm 的空间范围称为探索区。使用 EthoVision XT 9 分析实验鱼的轨迹,计算实验鱼与新奇物体的平均距离(单位:cm)、首次进入探索区的历时(单位:s)和在探索区的累计停留时间占比作为探索性的测定指标。其中前 2 个指标值越小代表实验鱼的探索性越强。

攻击性行为观测装置与活跃性行为观测装置相同,装置内水深为 10 cm,但在装置一侧装有 1 面 35 cm×20 cm 镜子(图 1c),待实验鱼适应 10 min 后开始拍摄实验鱼对镜子中自己影子的攻击行为,持续 30 min。使用 EthoVision XT 9 分析实验鱼的运动轨迹,进而计算实验鱼与镜子的平均距离(单位:cm)、攻击区(距离镜子 5 cm 以内的空间范围)累计停留时间占比等作为实验鱼攻击性的测定指标。其中平均距离值越小代表攻击性越强。

社会性的观测装置为“鱼类行为二元选择装置”,被 2 块透明的带孔玻璃板分隔为 3 部分:位于装置中间的选择区长×宽×高为 50 cm×35 cm×35 cm 和位于两侧的 2 个刺激区长×宽×高为 10 cm×35 cm×35 cm(图 1d),装置内水深为 10 cm。测定时随机选取 5 尾不用于正式实验测定的德玛森小岩鲷置于实验装置的任一刺激区,而另一刺激区空白。将单尾实验鱼放入选择区后适应 10 min,随后进行视频拍摄,拍摄时间为 20 min。有刺激鱼群的一侧距离透明有机玻璃板 5 cm 的空间范围称为偏好区,使用 EthoVision XT 9 分析实验鱼的轨迹,计算实验鱼在偏好区的累计停留时间占比作为社会性的测定指标,值越大代表与实验鱼的社会性越强。

1.3.2 觅食实验

为综合考查不同实验鱼个体的觅食速率,分别进行了空间探索觅食实验和抑制控制(inhibitory control)觅食实验。2 个觅食实验所用装置的主体结构均是一个长×宽×高为 70 cm×35 cm×35 cm 的矩形实验水槽(图 2),但水槽内部结构有所不同:空间探索觅食实验水槽内部所有挡板均不透明,用以考查实验鱼探索未知空间寻找食物的能力;抑制控制觅食实验水槽内的挡板 c 为透明有机玻璃板,实验鱼从适应装置 a 游出后可直接透过挡板 c 看到食物,但实验鱼必须抑制直接冲向食物的冲动,绕过挡板 c 才能获得食物,以此考查实验鱼的“控制抑制”觅食能力^[27]。2 个觅食实验的操作步骤基本一致:实验前实验鱼禁食 2 d 以保证食欲。实验时将单尾实验鱼放入一个长×宽×高为 7 cm×7 cm×10 cm 的适应装置中适应 10 min 后,打开装置上的小门,同时开始拍摄视频,直到实验鱼从适应装置中游出并成功进入食物区域(阴影部分)吃到食物。通过测定视频拍摄开始时分别到实验鱼首次游出装置的历时、首次进入食物区域的历时和首次摄食的历时(单位均为 s)这 3 个指标来衡量 2 个觅食实验的觅食速率。



注:a 表示适应装置;b 表示食物;c 表示透明隔板,装置内其他隔板均为不透明;阴影部分表示食物区(10 cm×35 cm)。

图 2 觅食速率测定装置俯视图

Fig. 2 The structure of the devices used to measure foraging rate (top view)

1.3 数据统计分析

实验数据经 Excel 2010 软件进行常规计算后,采用 SPSS 26 软件进行统计分析,指标之间的关联使用 Pearson 相关性分析,当 $p<0.05$ 时,相关性分析结果具有统计学意义。

2 结果

2.1 行为特征和觅食速率的个体差异

表 1 显示:德玛森小岩鲷的不同个性参数均存在较大的个体间差异,其中探索性参数中的探索区停留时间占比和首次进入探索区历时的个体间差异最大。觅食速率参数的个体间差异更大,其中空间探索觅食实验和抑制控制觅食实验中的首次游出适应装置历时的变异系数最大。

表 1 德玛森小岩鲷的个性特征和觅食速率参数的个体差异分析($n=28$)
Tab. 1 Individual differences of personality traits and foraging rate in *C. demasonis* ($n=28$)

参数		范围	中值	平均值	标准差	变异系数
活跃性	运动时间比	0.31%~76.92%	60.14%	53.18%	20.30%	38.17%
	平均速度/(cm·s ⁻¹)	0.26~5.34	3.36	3.30	1.27	38.56%
探索性	距新奇物体平均距离/cm	6.39~45.40	24.10	23.19	8.30	35.79%
	探索区停留时间占比	0.18%~89.21%	15.27%	20.73%	21.75%	104.96%
	首次进入探索区历时/s	0~121.47	14.67	29.14	38.07	130.63%
社会性	偏好区时间占比	13.49%~100%	91.17%	85.54%	17.38%	20.32%
攻击性	距镜子平均距离/cm	8.49~48.91	14.03	16.23	7.64	47.05%
	攻击区停留时间占比	0~93.41%	60.79%	60.91%	20.08%	32.97%
空间探索觅食实验	首次游出装置历时/s	0~474	8.50	40.82	91.64	224.49%
	首次进入食物区历时/s	1~540	47.50	78.04	106.44	136.40%
	首次摄食历时/s	2~546	68.50	112.04	123.29	110.04%
抑制控制觅食实验	首次游出适应装置历时/s	0~34	0	2.50	6.82	272.93%
	首次进入食物区历时/s	2~277	40.50	72.64	70.02	96.39%
	首次摄食历时/s	3~420	55	87.75	94.10	107.23%

2.2 个性特征之间的关联

表 2 显示:德玛森小岩鲷活跃性指标中的运动时间比和平均速度均与探索性指标中与新奇物体平均距离呈统计学意义上的负相关关系($p<0.05$);此外,活跃性指标的运动时间比与探索性指标的首次进入探索区历时呈统计学意义上的负相关关系($p<0.05$);活跃性指标中的运动时间比和平均速度均与攻击性指标中与镜子平均距离呈统计学意义上的负相关关系($p<0.05$);探索性指标中的探索区停留时间占比与社会性指标中的偏好区时间占比呈统计学意义上的负相关关系($p<0.05$)。

2.3 个性特征与觅食速率之间的关联

由图 3 和表 3 可知:空间探索觅食实验中实验鱼首次游出适应装置历时、首次进入食物区历时和首次摄食历时均与活跃性指标的运动时间比呈统计学意义上的负相关关系($p<0.05$);此外,空间探索觅食实验指标的首次游出适应装置历时、首次进入食物区历时和首次摄食历时也均与活跃性指标的平均速度呈统计学意义上的负相关关系($p<0.05$)。

结合图 4 与表 3 可知:抑制控制觅食实验中实验鱼首次游出装置历时与活跃性指标中的运动时间比、平均速度均呈统计学意义上的负相关关系($p<0.05$);实验鱼首次游出装置历时还分别与探索性指标中与新奇物体

平均距离、首次进入探索区历时呈统计学意义上的正相关关系($p<0.05$);此外,抑制控制觅食实验中实验鱼的首次摄食历时还与攻击性指标的攻击区停留时间占比呈统计学意义上的正相关关系($p<0.05$)。

表 2 德玛森小岩鲷的个性特征之间的关联($n=28$)
Tab. 2 Relationships between personality in *C. demasonis* ($n=28$)

参数		活跃性	探索性			社会性	攻击性	
		平均速度	距新奇物体 平均距离	探索区停留 时间占比	首次进入 探索区历时	偏好区 时间占比	距镜子 平均距离	攻击区停留 时间占比
活跃性	运动时间比	$r=0.926$	$r=-0.522$	$r=0.248$	$r=-0.406$	$r=0.014$	$r=-0.549$	$r=0.331$
		$p<0.001$	$p=0.005$	$p=0.213$	$p=0.036$	$p=0.944$	$p=0.003$	$p=0.091$
	平均速度		$r=-0.384$	$r=0.127$	$r=-0.361$	$r=-0.042$	$r=-0.437$	$r=0.221$
			$p=0.048$	$p=0.527$	$p=0.064$	$p=0.832$	$p=0.023$	$p=0.268$
探索性	距新奇物体平均距离			$r=-0.841$	$r=0.429$	$r=0.379$	$r=0.327$	$r=-0.176$
				$p<0.001$	$p=0.026$	$p=0.051$	$p=0.096$	$p=0.379$
	探索区停留时间占比			$r=-0.341$	$r=-0.509$	$r=-0.144$	$r=0.024$	
				$p=0.082$	$p=0.007$	$p=0.472$	$p=0.907$	
	首次进入探索区历时					$r=0.168$	$r=0.167$	$r=-0.093$
					$p=0.401$	$p=0.405$	$p=0.644$	
社会性	偏好区时间占比						$r=0.115$	$r=0.061$
							$p=0.567$	$p=0.764$
攻击性	距镜子平均距离							$r=-0.823$
							$p<0.001$	

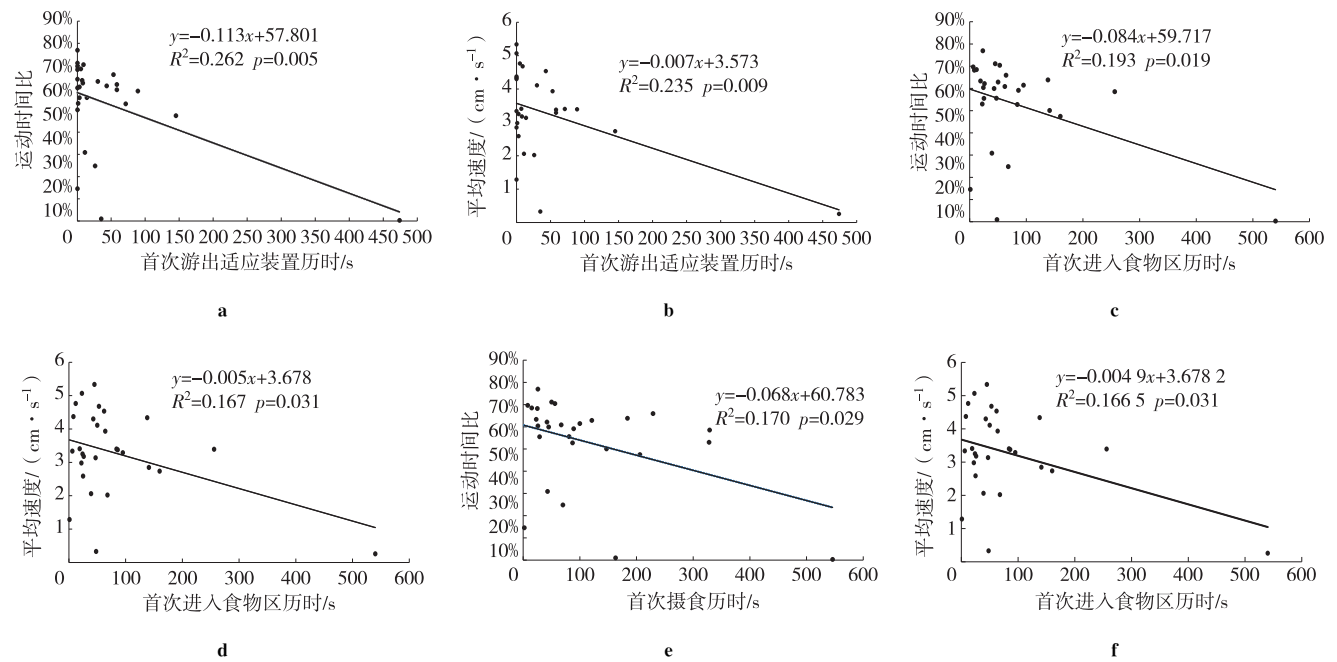


图 3 德玛森小岩鲷个性特征与空间探索觅食实验的觅食速率之间的关联

Fig. 3 Relationships between foraging rate of spatial exploration foraging experiment and personality in *C. demasonis*

表 3 德玛森小岩鲷的个性特征和觅食速率之间的关联($n=28$)

Tab. 3 Relationships between personality and foraging rate in *C. demasonis* ($n=28$)

参数		空间探索觅食实验			抑制控制觅食实验		
		首次游出适应装置历时	首次进入食物区历时	首次摄食历时	首次游出适应装置历时	首次进入食物区历时	首次摄食历时
活跃性	运动时间比	$r=-0.512$ $p=0.005$	$r=-0.440$ $p=0.019$	$r=-0.413$ $p=0.029$	$r=-0.439$ $p=0.020$	$r=-0.046$ $p=0.816$	$r=-0.042$ $p=0.833$
	平均速度	$r=-0.485$ $p=0.009$	$r=-0.408$ $p=0.031$	$r=-0.408$ $p=0.031$	$r=-0.378$ $p=0.047$	$r=-0.084$ $p=0.670$	$r=-0.128$ $p=0.518$
探索性	距新奇物体平均距离	$r=0.034$ $p=0.866$	$r=0.028$ $p=0.889$	$r=-0.007$ $p=0.972$	$r=0.523$ $p=0.005$	$r=-0.047\ 2$ $p=0.815$	$r=-0.211$ $p=0.291$
	探索区停留时间占比	$r=0.109$ $p=0.589$	$r=-0.018$ $p=0.930$	$r=0.146$ $p=0.467$	$r=-0.168$ $p=0.401$	$r=0.098$ $p=0.628$	$r=0.286$ $p=0.148$
	首次进入探索区历时	$r=-0.196$ $p=0.325$	$r=0.191$ $p=0.339$	$r=0.224$ $p=0.261$	$r=0.399$ $p=0.039$	$r=-0.113$ $p=0.576$	$r=-0.156$ $p=0.438$
社会性	偏好区时间占比	$r=-0.222$ $p=0.256$	$r=-0.147$ $p=0.454$	$r=-0.231$ $p=0.236$	$r=0.025$ $p=0.898$	$r=-0.090$ $p=0.648$	$r=-0.087$ $p=0.658$
攻击性	距镜子平均距离	$r=0.105$ $p=0.603$	$r=0.141$ $p=0.482$	$r=0.103$ $p=0.610$	$r=0.232$ $p=0.244$	$r=-0.209$ $p=0.295$	$r=-0.229$ $p=0.251$
	攻击区停留时间占比	$r=-0.149$ $p=0.457$	$r=-0.195$ $p=0.330$	$r=-0.254$ $p=0.200$	$r=-0.068$ $p=0.734$	$r=0.292$ $p=0.139$	$r=0.405$ $p=0.036$

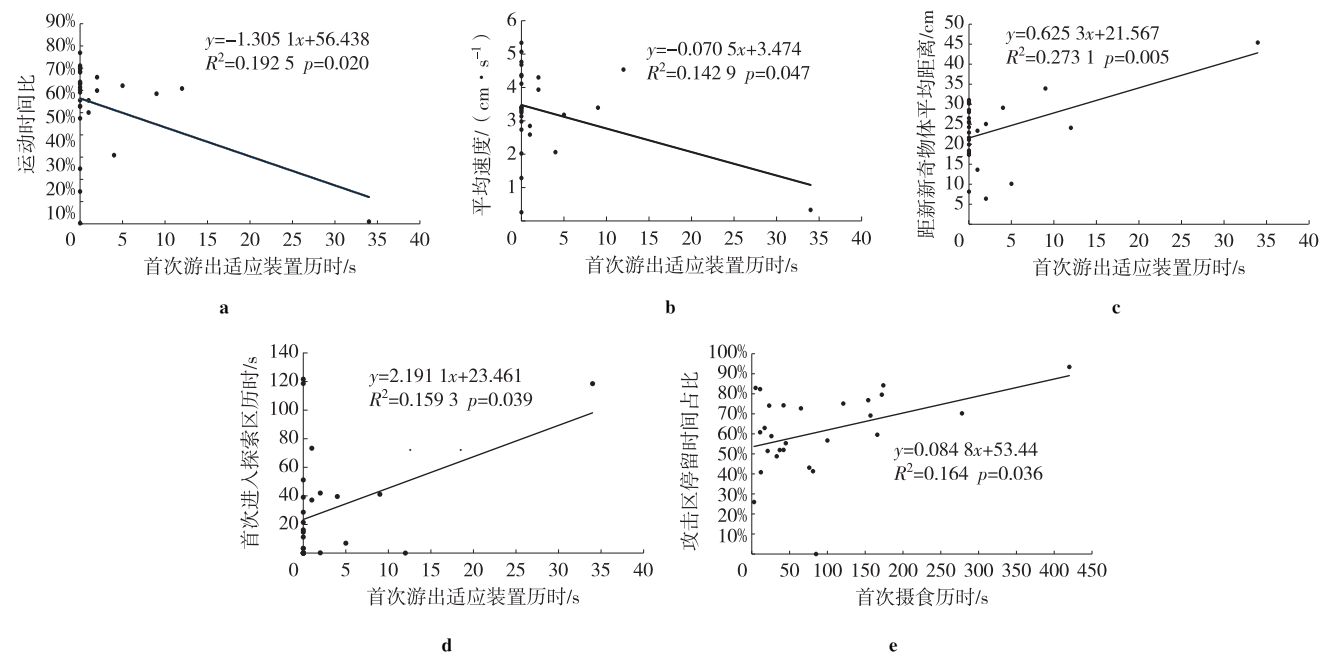


图 4 德玛森小岩鲷个性特征与抑制控制觅食实验的觅食速率之间的关联

Fig. 4 Relationships between foraging rate of inhibition control foraging experiment and personality in *C. demasonis*

3 讨论

3.1 德玛森小岩鲷个性特征之间的关联

以往研究表明鱼类的个性特征彼此之间可能存在关联^[12,28],例如叉尾斗鱼(*Macropodus opercularis*)的活

跃性和勇敢性均与攻击性呈正相关关系^[29];橘斑娇丽鱼(*Amatitlania siquia*)的勇敢性与探索性呈正相关关系^[30];雌性孔雀鱼(*Poecilia reticulata*)的勇敢性和社会性表现为负相关关系^[20];三刺鱼(*Gasterosteus aculeatus*)的探索性和社会性彼此呈负相关关系^[31]。

本研究发现,德玛森小岩鲷的活跃性与探索性、攻击性均呈正相关关系,此外探索性与社会性呈负相关关系,这与以往研究结果基本一致。这种较为活跃、探索性和攻击性较强的个体可归为“勇敢型”个体,另一类则为“害羞型”个体^[1]。“勇敢型”个体通常具有更大的代谢引擎(metabolic engine),支持它在活跃性、探索性和攻击性上表现更为积极,这种行为策略利于“勇敢型”个体通过获取更多食物进一步为代谢引擎提供支撑^[1]。就社会性而言,一般“害羞型”个体更依赖群体,因此社会联系紧密,表现出更强烈的社会性^[32-33]。这种个性特征之间的关联可能会限制鱼类行为的可塑性,但对于维持行为特征的个体间差异的稳定性具有十分重要的意义^[12]。

3.2 德玛森小岩鲷个性特征与觅食速率之间的关联

鱼类的个性特征可能会对觅食活动产生影响。相较“害羞型”个体,“勇敢型”个体一方面能量代谢成本更高^[34],更易饥饿,觅食动力更为强烈^[35];另一方面个体本身活跃性、探索性更强^[1],利于更快发现食物^[19],可能导致这类个体具有觅食速率的优势。有研究发现,雌性孔雀鱼(*Poecilia reticulata*)的觅食速率与勇敢性呈正相关,与社会性呈负相关^[20];银鲑(*Coho salmon*)幼鱼的攻击性与觅食速率呈正相关^[36]。

在本研究的探索觅食实验中,较活跃的个体更快游出适应装置,并更快地进入食物区进行摄食,觅食速率更高。提示较活跃的德玛森小岩鲷个体的觅食动机可能更为强烈,且探索空间搜索食物的能力更强。相较空间探索觅食实验,抑制控制觅食实验场景更为复杂,需要实验鱼充分探索觅食场所的结构,抑制直接穿越透明有机玻璃进行觅食的冲动^[27]。结果发现,德玛森小岩鲷的活跃性、探索性均与首次游出适应装置历时呈正相关关系,但活跃性、探索性和社会性均与首次摄食历时相关性不具统计学意义,表明德玛森小岩鲷的这3种个性特征与“控制抑制”能力无关。有意思的是德玛森小岩鲷的攻击性与首次摄食历时具有统计学意义上的负相关关系,可能由于攻击性较强的个体“控制抑制”能力较弱,会花费更多时间试图直接通过透明挡板,而非尝试探索环境选择绕行。

综上所述,德玛森小岩鲷的活跃性、探索性和攻击性彼此存在关联;活跃性较高的个体觅食速率更高,而攻击性较高的个体觅食速率更低。

参考文献:

- [1] BIRO P A, STAMPS J A. Do consistent individual differences in metabolic rate promote consistent individual differences in behavior?[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2010, 25(11): 653-659.
- [2] RÉALE D, READER S M, SOL D, et al. Integrating animal temperament within ecology and evolution[J]. Biological Reviews, 2007, 82(2): 291-318.
- [3] SIH A, GIUDICE M D. Linking behavioural syndromes and cognition: a behavioural ecology perspective[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological sciences, 2012, 367(1603): 2762-2772.
- [4] 李秦蕾, 刘香, 张宁, 等. 两种生态相关猎物鱼个性的种间差异及其捕食者效应[J]. 水生生物学报, 2022, 46(6): 788-795.
LI Q L, LIU X, ZHANG N, et al. Interspecific differences in the personalities of two ecologically related prey fish and the effects of their predator[J]. Acta Hydrobiologia Sinica, 2019, 46(6): 788-795.
- [5] GODIN J G J, CLARK K A V. Risk-taking in stickleback fishes faced with different predatory threats[J]. Écoscience, 1997, 4(2): 246-251.
- [6] TANG Z H, FU S J. Qingbo (*Spinibarbus sinensis*) personalities and their effect on shoaling behavior[J]. Acta Ethologica, 2019, 22(2): 135-144.
- [7] 李武新, 孙春艳, 曾令清. 鱼类个性测定方法研究进展[J]. 生态学杂志, 2021, 40(2): 544-558.
LI W X, SUN C Y, ZENG L Q. A review on methodology for the measurement of personality in fish[J]. Chinese Journal of Ecology, 2021, 40(2): 544-558.
- [8] CAREAU V, GARLANDT. Performance, personality, and energetics: correlation, causation, and mechanism[J]. Physiological and Biochemical Zoology, 2012, 85(6): 543-571.
- [9] 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.
- [10] 龚文奥, 赵浩翔, 张久荭, 等. 不同光照强度对淡黑镊丽鱼幼鱼个性的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2023, 40(3): 16-21.
- GONG W A, ZHAO H X, ZHANG J H, et al. Effects of different illumination intensity on the personality of *Labidochromis caeruleus* juvenile[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2023, 40(3): 16-21.
- [11] 曾足仙, 龙家兴, 何骄阳, 等. 光照周期对两种鱼类社会性及社会奖赏情景下行为策略的影响[J]. 生态学杂志, 2024, 43(4): 959-966.
- ZENG Z X, LONG J X, HE J Y, et al. Effects of photoperiod on sociability and behavioral strategies under social reward scenarios in two fish species[J]. Chinese Journal of Ecology, 2024, 43(4): 959-966.
- [12] SIH A, BELL A, JOHNSON J C. Behavioral syndromes: an ecological and evolutionary overview[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2004, 19(7): 372-378.
- [13] BELL A M. Future directions in behavioural syndromes research[J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2007, 274(1611): 755-761.
- [14] COLLÉTER M, BROWN C. Personality traits predict hierarchy rank in male rainbowfish social groups[J]. Animal Behaviour, 2011, 81(6): 1231-1237.
- [15] SUNDSTRÖM L F, PETERSSON E, HÖJESJÖ J, et al. Hatchery selection promotes boldness in newly hatched brown trout (*Salmo trutta*): implications for dominance[J]. Behavioral Ecology, 2004, 15(2): 192-198.
- [16] 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. Feeding metabolism and locomotion metabolism in fish[J]. Chinese Journal of Zoology, 2008, 43(2): 150-159.
- [17] 蒲德永, 刘小红, 李孟来, 等. 饥饿对四川华鲮能量代谢与低氧耐受特征的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(1): 87-95.
- PU D Y, LIU X H, LI M L, et al. Effects of fasting on energy metabolism and hypoxia tolerance of *Sinibrama taeniatus* [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2024, 46(1): 87-95.
- [18] IOANNOU C C, ROCQUE F, HERBERT-READ J E, et al. Predators attacking virtual prey reveal the costs and benefits of leadership[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2019, 116(18): 8925-8930.
- [19] WINANDY L, DENOËL M. The aggressive personality of an introduced fish affects foraging behavior in a polymorphic newt [J]. Behavioral Ecology, 2015, 26(6): 1528-1536.
- [20] TROMPF L, BROWN C. Personality affects learning and trade-offs between private and social information in guppies, *Poecilia reticulata* [J]. Animal Behaviour, 2014, 88: 99-106.
- [21] COTE J, CLOBERT J, BRODIN T, et al. Personality-dependent dispersal: characterization, ontogeny and consequences for spatially structured populations[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2010, 365(1560): 4065-4076.
- [22] CASTANHEIRA M F, HERRERA M, COSTAS B, et al. Can we predict personality in fish? searching for consistency over time and across contexts[J]. PLoS ONE, 2017, 8(4): e62037.
- [23] FRIEDMAN M, KECK B P, DORNBURG A, et al. Molecular and fossil evidence place the origin of cichlid fishes long after Gondwanan rifting[J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2013, 280(1770): 20131733.
- [24] ESCOBAR-CAMACHO D, MARSHALL J, CARLETON K L. Behavioral color vision in a cichlid fish, *Metriacrima benetos* [J]. Journal of Experimental Biology, 2017, 220(16): 2887-2899.
- [25] BIERBACH D, CAROLIN S T, HANISCH J, et al. Personality affects mate choice: bolder males show stronger audience effects under high competition[J]. Behavioral Ecology, 2015, 26(5): 1314-1325.
- [26] TANG Z H, HUANG Q, WU H, et al. The behavioral response of prey fish to predators: the role of predator size[J]. Peer J, 2017, 5: e3222.
- [27] LOMBARDI M B, ALMEIDA D T M A F, ELIANE G. Male and female cichlid fish show cognitive inhibitory control ability [J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 15795.
- [28] KOOLHAAS J M, KORTE S M, De BOER S F, et al. Coping styles in animals: current status in behavior and stress-physiology [J]. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 1999, 23(7): 925-935.
- [29] 周文茜, 郑世龙, 张雨林, 等. 叉尾斗鱼标准代谢率和行为的个体差异及其关联[J]. 生态学杂志, 2023, 42(11): 2695-2701.

- ZHOU W Q, ZHENG S L, ZHANG Y L, et al. The individual differences of standard metabolic rate and behavior and their relationships in *Macropodus opercularis* [J]. Chinese Journal of Ecology, 2023, 42(11): 2695-2701.
- [30] MAZUÉ G P F, DECHAUME-MONCHARMONT F X, GODIN J G J. Boldness-exploration behavioral syndrome: interfamily variability and repeatability of personality traits in the young of the convict cichlid (*Amatitlania siquia*) [J]. Behavioral Ecology, 2015, 26(3): 900-908.
- [31] NOMAKUCHI S, PARK P J, BELL M A. Correlation between exploration activity and use of social information in three-spined sticklebacks [J]. Behavioral Ecology, 2009, 20(2): 340-345.
- [32] PIKE T W, SAMANTA M, LINDSTRÖM J, et al. Behavioural phenotype affects social interactions in an animal network [J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2008, 275(1650): 2515-2520.
- [33] HENSLEY N M, COOK T C, LANG M, et al. Personality and habitat segregation in giant sea anemones (*Condylactis gigantea*) [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2012(426/427): 1-4.
- [34] 张宗航, 郭浩宇, 张雪梅, 等. 鱼类社群等级及其在水产增殖中的应用 [J]. 生态学杂志, 2018, 37(4): 1257-1264.
- ZHANG Z H, GUO H Y, ZHANG X M, et al. Fish social hierarchy and its application in aquaculture and stock enhancement [J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(4): 1257-1264.
- [35] REDPATH T D, COOKE S J, ARLINGHAUS R, et al. Life-history traits and energetic status in relation to vulnerability to angling in an experimentally selected teleost fish [J]. Evolutionary Applications, 2009, 2(3): 312-323.
- [36] NIELSEN J L. Microhabitat-specific foraging behavior, diet, and growth of juvenile coho salmon [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1992, 121(5): 617-634.

Physiological Ecology and Ethology of Fishes

The Relationships between Personality and Foraging Rate in *Chindongo demasonis*

ZHENG Shilong, ZHANG Yulin, ZHOU Keying, FU Shijian, FU Cheng

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

Abstract: Fish obtain essential nutrients through foraging. Personality may have a significant impact on the foraging efficiency of fish, but the correlation between them still remains uncertain. The *Chindongo demasonis* was selected as research object, and its activity, aggressiveness, exploration, and sociability were measured. Furthermore, the foraging efficiency of *C. demasonis* individuals were also investigated through spatial exploration foraging experiment and inhibitory control foraging experiment. The relationships between different personality traits and the influence of personality on foraging efficiency were analyzed. The results revealed a significant positive correlation between activity and both exploration and aggressiveness in *C. demasonis* ($p < 0.05$). Additionally, exploration showed a significant negative correlation with sociability ($p < 0.05$). In spatial exploration foraging experiment, *C. demasonis*'s latency to emerge, latency to enter food area, latency to eat food were all negatively correlated with activity ($p < 0.05$); in inhibitory control foraging experiment, *C. demasonis*'s latency to eat food showed a positive correlation with aggressiveness ($p < 0.05$), indicating that more active individuals had higher foraging efficiency in this experiment. This suggests that individuals with stronger activity are more motivated for foraging, and their spatial exploration ability is also stronger; stronger aggressiveness exhibit weaker inhibitory control performance and need longer time to finish foraging. Personality plays a crucial role in the foraging efficiency of fish.

Keywords: active; cichlid; spatial exploration foraging; inhibition control foraging; feeding

(责任编辑 黄 颖)