

环境丰容对许氏平鲈幼鱼生长和个性的影响

魏涛¹, 李金垚¹, 贾彪¹, 韩岩珂¹, 田涛^{1,2}, 于晓明^{1,2*}

(1. 大连海洋大学 辽宁省海洋牧场工程技术研究中心, 辽宁 大连 116023; 2. 设施渔业教育部重点实验室 (大连海洋大学), 辽宁 大连 116023)

摘要:为考察环境丰容对许氏平鲈 (*Sebastes schlegelii*) 幼鱼 (体质量为 7.25 ± 1.89 g) 生长和个性的影响, 观测了有礁石环境 (环境丰容组, EE) 和无礁石环境 (对照组, C) 条件下试验鱼的生长性能 (增重率和特定生长率) 和个性行为指标 (勇敢性、探索性、活跃性和好斗性)。结果表明: 在不同环境下养殖 8 周后, EE 组和 C 组试验鱼的增重率和特定生长率均无显著性差异; EE 组试验鱼的攻击次数 (44.44 ± 9.30) 显著低于 C 组试验鱼 (166.11 ± 55.92 , $P < 0.05$), 但 EE 组和 C 组试验鱼的游出遮蔽区次数、开阔区停留时间比、首次探索陌生物体时间比、距陌生物体距离及游泳时间比均无显著性差异; 相关性分析显示, 试验鱼的开阔区停留时间比与游出遮蔽区次数呈正相关 ($P < 0.05$), 首次接近陌生物体时间比与开阔区停留时间比和游出遮蔽区次数均呈负相关 ($P < 0.05$), 而与距陌生物体平均距离呈正相关 ($P < 0.05$), 特定生长率与各行行为测定指标间均无相关性。研究表明: 礁石丰容环境对许氏平鲈幼鱼的生长性能、勇敢性、探索性和活跃性均无显著性影响, 但显著降低了其好斗性; 试验鱼的勇敢性与探索性呈正相关, 而与活跃性和好斗性均不相关; 试验鱼的生长性能与个性行为各指标间均无相关性。

关键词: 许氏平鲈; 环境丰容; 生长; 个性

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

鱼类的生长与其所接触外在因子 (水体温度、食物供应等) 和内在因子 (摄食水平、营养条件等) 关系紧密。在养殖条件下, 鱼群密度较自然环境大幅增加, 导致个体间对食物和空间的竞争加剧, 攻击频率增加, 逐渐形成社群等级。处于劣势地位的个体始终处于不利状态, 导致摄食量降低, 生长缓慢, 且与优势个体的差距不断增大。环境丰容能够改善圈养动物的生存空间, 通过构建和改变原有环境, 使其能够表现出尽可能多的自然行为, 并为其提供更多的行为选择空间。研究发现, 不同理化特性的生境可为生物进行觅食、避敌和交配等行为提供有利条件^[1]。通过有效的措施, 如在养殖水体中添加隐蔽物, 可降低个体间竞争的激烈程度, 并改善其栖息环境^[2]。环境丰容可减少养殖鱼类的攻击、异常和焦虑行为, 增强认知能力, 进而改善其福利水平, 提高生长性能。如在大西洋鲑 (*Salmo salar*) 生活环境中投放丰容物可显著降低

其勇敢性, 延长其在庇护所中的停留时间^[3]; 在添加了丰容物的水槽中, 花狼鲈 (*Anarhichas minor*)^[4] 的攻击水平有所降低。

许氏平鲈为岩礁性鱼类, 已有研究者分析了岩礁鱼类的个性表现^[5], 而有关许氏平鲈勇敢性 (boldness)、探索性 (exploration)、活跃性 (activity) 和好斗性 (aggressiveness) 等个性评价指标的研究仅有少量报道^[6]。个性是一类相同个体所表现出的不同行为, 即在面对同种情境下, 相同物种个体之间由于各种原因触发了不同的反应机制, 进而出现不同的行为^[7]。动物个性主要包括勇敢性、探索性、活跃性及好斗性。勇敢性是指个体对潜在风险生境的行为决策, 反映了鱼类拥有应对已知的具有一定挑战性环境的认知能力及其行为方式, 是评价动物为获得更多食物或增加繁殖机会而承担更多风险的个性行为指标^[8]。探索性是鱼类的一种能够获得环境信息、获取食物资源及探测被捕食风

收稿日期: 2024-01-09

基金项目: 设施渔业教育部重点实验室 (大连海洋大学) 开放课题 (202316); 辽宁省教育厅科学研究经费项目 (JL202001); 大连市科技创新基金项目 (2021JJ11CG001)

作者简介: 魏涛 (2000—), 男, 硕士研究生。E-mail: 1737219648@qq.com

通信作者: 于晓明 (1981—), 男, 博士, 副教授。E-mail: yxm@dlou.edu.cn

险的积极行为^[9]。活跃性是指个体在无外界刺激情况下出现的自发运动行为,常与觅食、捕食、逃避敌害和迁徙等行为密切相关。好斗性是指同种动物个体间因争夺食物、配偶和领地等发生的相互攻击水平。鱼类不同个性行为评价指标间可能会存在相关性,如许氏平鲈的勇敢性与好斗性、活跃性均呈显著正相关^[6]。个性会影响鱼类的摄食和游泳能力,进而影响其生长性能。如勇敢性和活跃性更强的欧洲鲷 (*Solea solea*) 摄食效率更高,生长速度更快^[10];对美新亮丽鲷 (*Neolamprologus pulcher*) 的研究发现,更活跃的个体比不好动的个体具有更快的生长速度^[11]。

近年来,国外针对环境丰容对鱼类生长和行为的影响开展了较为系统的研究,而国内的相关研究仅有少量报道。本研究中通过室内行为观察试验,比较了不同环境丰容水平下许氏平鲈幼鱼的生长性能及勇敢性、探索性、活跃性和好斗性,同时分析了个性行为不同评价指标之间及其与生长性能指标之间的相关性,初步探究了环境丰容对许氏平鲈幼鱼生长和行为的影响,以期通过环境丰容技术提高增殖放流鱼类的福利水平及放流后的成活率,为优质放流苗种的培育和放流技术的改进提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 材料

试验用许氏平鲈幼鱼购于大连天正实业有限公司。试验前将试验鱼在循环养殖水槽中暂养 4 周。暂养期间日换水量约为暂养水体的 10%,水温为 $(14.26 \pm 0.12)^\circ\text{C}$,盐度为 32.0 ± 1.0 ,暂养期间使用气泵持续充气,以保证溶解氧大于 6.0 mg/L 。每日 9:00 和 16:00 投喂配合饲料,饱食后清除残饵和粪便。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 待试验鱼驯化结束后,随机挑选体长为 $(6.60 \pm 0.63) \text{ cm}$ 、体质量为 $(7.25 \pm 1.89) \text{ g}$ 的许氏平鲈幼鱼 30 尾作为试验对象,并分成两组,每组 15 尾。为区分不同个体,所有试验鱼的腹腔内注射被动集成应答器 (passive integrated transponder, PIT)。试验装置为两个长方形白色玻璃钢水槽 (长×宽×高为 $100 \text{ cm} \times 90 \times 70 \text{ cm}$)。其中,环境丰容组 (EE) 水槽内正中央摆放一层形状不规则的黑色礁石,构成直径为

50 cm 圆形区域,其余区域无丰容物。无丰容水槽 (对照组, C) 槽内除必要过滤装置及气泵外无任何物体。养殖 8 周后测定各组试验鱼的生长 (体长和体质量) 和个性 (勇敢性、探索性、活跃性和好斗性),试验环境条件如下:水温为 $14^\circ\text{C} \sim 19^\circ\text{C}$ 、盐度和溶解氧含量同暂养条件。

1.2.2 生长指标测定方法 试验开始前和结束时各测定一次试验鱼的体长和体质量,特定生长率 (specific growth rate, SGR, %/d)、增重率 (weight gain rate, WGR, %) 计算公式分别为

$$R_{\text{SGR}} = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100\%, \quad (1)$$

$$R_{\text{WGR}} = (W_t - W_0) / W_0 \times 100\%。 \quad (2)$$

式中: t 为试验时间 (d); W_0 为第 0 天试验时鱼的质量 (g); W_t 为第 t 天试验时鱼的质量 (g)。

1.2.3 个性测定方法 个性试验所用测定装置为自制的鱼类行为观察水槽,采用白色 PVC 板制作,规格为 $60 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ (长×宽×高)。水槽内有一不透明隔板将其分为 2 个区域,分别为开阔区 (长 40 cm) 和遮蔽区 (长 20 cm)。其中,遮蔽区为试验鱼初始停留地点,开阔区为试验鱼与外界交互地,为开展各类个性试验的地点。不透明隔板的底部有一开口 (长×宽为 $7 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$) 连通遮蔽区和开阔区,开口处悬挂一可升降小门。水槽正上方安置有一摄像头 (海康威视, B12HV2-1A),摄像头连接视频采集系统 (海康威视, 7104N-F1-4P)。各行指标测定方法如下。

勇敢性: 将一尾试验鱼放置在遮蔽区适应 30 min,随后缓慢提起开口处的小门,进行持续 20 min 的视频拍摄。分析试验视频,统计试验鱼游出遮蔽区的次数及在开阔区的停留时间比 (%)。

探索性: 勇敢性测试结束后,将试验鱼由开阔区引入遮蔽区,随后闭合小门,于靠近开阔区一端放置一个内径为 4 cm 的 PVC 直角管, (该物体距开阔区边缘中心 15 cm 处,开口背向遮蔽区)。待试验鱼在遮蔽区休息 20 min 后,再次提起小门并开始录制视频,拍摄 20 min。分析试验视频,统计试验鱼首次接近陌生物体所用时间比 (%) 和距离陌生物体的平均距离 (cm)。若试验鱼在探索性测定过程中未游出遮蔽区进入开阔区探索,则不计入统计。

活跃性: 探索性试验完成后,立即将陌生物体取出,检查所有试验鱼均处于开阔区后立即放下小门,待其恢复 10 min 后,开始进行活跃性分析及视频拍摄,观察试验鱼 10 min 内的自发游泳行为。然后分析试验视频,并统计试验鱼在开阔区的移动

时间比 (%)。

好斗性:采用镜像斗争法测定。试验水槽采用白色 PVC 板制作,规格为 40 cm×20 cm×20 cm (长×宽×高)。水槽正中央放置一双面镜将其平分为两个区域,双面镜表面覆盖有黑色塑料板。试验时,选取 2 尾试验鱼分别放置于试验水槽的两个区域内,适应 30 min 后,移走双面镜表面的黑色塑料板,向试验鱼展示镜面 30 min,同时拍摄视频记录其攻击行为,用于好斗性分析。好斗性包括撞击、恐吓、示威和环绕 4 个评价指标^[12],具体定义如下,撞击:快速游向镜子,并观察到明显撞击行为。恐吓:鱼体快速游向镜面,然后回到原来的位置,未发生身体接触。示威:鱼体接近镜面(0.5~1.5 倍体长),观察到两侧侧翼明显张开,鳃盖起伏明显,鳍竖立,身体摇摆。环绕:于镜面前进行环绕,左右环绕即为一次完整行为。

1.3 数据处理

试验数据采用 Excel 2019 软件进行汇总及计算后,采用 SPSS 26.0 软件进行统计分析。采用独立样本 *T* 检验分析环境丰容对试验鱼个性和生长评价指标的影响是否具有统计学意义。个性行为不同评价指标之间及其与生长指标之间的关联采用 Per-

son 相关性分析。试验过程中,所有统计值均采用平均值±标准误 (mean±S. E.) 表示,显著性水平设为 0.05。

2 结果与分析

2.1 环境丰容对许氏平鲈幼鱼生长的影响

环境丰容组 (EE) 与对照组 (C) 试验鱼的初始体长、初始体质量、终体长和终体质量均无显著性差异 (*P*>0.05); EE 组试验鱼的增重率和特定生长率虽略高于 C 组,但二者并无显著性差异 (*P*>0.05),表明礁石丰容环境对许氏平鲈幼鱼的生长性能无显著性影响 (表 1)。

2.2 环境丰容对许氏平鲈幼鱼个性的影响

EE 组和 C 组试验鱼的游出遮蔽区次数、开阔区停留时间比、首次探索陌生物体所用时间比、距陌生物体距离和游泳时间比均无显著性差异 (*P*>0.05),表明礁石丰容环境对许氏平鲈幼鱼的勇敢性、探索性和活跃性均无显著性影响 (表 2)。而 EE 组试验鱼的攻击次数则显著低于 C 组试验鱼 (*P*<0.05),表明礁石丰容环境显著降低了许氏平鲈幼鱼的好斗性。

表 1 环境丰容对许氏平鲈幼鱼生长的影响

Tab.1 Effects of environmental enrichment on the growth of juvenile *Sebastes schlegelii*

组别 group	初体长/cm initial body length	终体长/cm final body length	初始体质量/g initial body weight	终末体质量/g final body weight	增重率/% weight gain rate	特定生长率/% specific growth rate
丰容组 (EE) enrichment group	6.62±0.23	7.71±0.27	7.09±0.65	13.95±1.39	98.01±7.76	2.26±0.13
对照组 (C) control group	6.59±0.16	7.72±0.22	7.25±0.63	13.96±1.05	94.43±6.00	2.20±0.10

表 2 环境丰容对许氏平鲈幼鱼勇敢性、探索性、活跃性和好斗性的影响

Tab.2 Effects of environmental enrichment on boldness, exploratory, activity and aggressiveness of juvenile *Sebastes schlegelii*

组别 group	勇敢性 boldness		探索性 exploration		活跃性 activity	好斗性 aggressiveness
	游出次数 frequency of inspection	停留时间比/% percent time to inspection	首次探索时间比/% percent time to first exploration	距陌生物体距离/cm distance to strange objects	游泳时间比/% percent time to swimming	攻击次数 attack times
丰容组 (EE) enrichment group	2.56±1.00	16.17±7.96	45.00±13.69	2.18±1.05	10.91±5.83	44.44±9.30 *
对照组 (C) control group	2.00±1.33	9.91±6.44	61.00±14.09	2.96±0.65	10.89±5.35	166.11±55.92

注: * 表示与对照组有显著性差异 (*P*<0.05)。
Note: * means significant difference compared with the control (*P*<0.05) .

2.3 各项行为参数之间相关性分析

本研究中发现，试验鱼的开阔区停留时间比与游出遮蔽区次数呈正相关（ $P<0.05$ ）；试验鱼首次探索陌生物体时间比与开阔区停留时间比和游出遮蔽区次数均呈负相关（ $P<0.05$ ），而与距陌生物体距离则呈正相关（ $P<0.05$ ），表明许氏平鲈幼鱼的

勇敢性与探索性呈正相关，勇敢性越强的个体探索性也越强（表 3）。试验鱼的游泳时间比和攻击次数与其他行为测定指标均无相关性（ $P>0.05$ ），表明许氏平鲈幼鱼的活跃性和好斗性与勇敢性、探索性均无相关性。试验鱼的特定生长率与勇敢性、探索性、活跃性和好斗性之间也均无相关性（ $P>0.05$ ）。

表 3 不同行为参数相关性分析

Tab. 3 Correlation analysis of different behavioral parameters

指标 index	勇敢性 boldness		探索性 exploration		活跃性 activity	好斗性 aggressiveness	生长 growth
	游出次数 frequency of inspection	停留时间比/% percent time to inspection	首次探索时间比/% percent time to first exploration	距陌生物体距离/cm distance to strange objects	游泳时间比/% percent time to swimming	攻击次数 attack times	特定生长率/% specific growth rate
出现次数 frequency of inspection	1						
停留时长比 percent time to inspection	$R=0.767$ $P<0.001^{**}$	1					
首次探索时间比/% percent time to first exploration	$R=-0.738$ $P=0.023^{*}$	$R=-0.735$ $P=0.024^{**}$	1				
距陌生物体距离/cm distance to strange objects	$R=-0.470$ $P=0.201$	$R=-0.330$ $P=0.386$	$R=0.814$ $P=0.008^{**}$	1			
游泳时间比/% percent time to swimming	$R=0.203$ $P=0.419$	$R=0.253$ $P=0.311$	$R=0.048$ $P=0.903$	$R=0.240$ $P=0.534$	1		
攻击次数 attack times	$R=0.280$ $P=0.261$	$R=-0.060$ $P=0.812$	$R=0.459$ $P=0.214$	$R=0.297$ $P=0.438$	$R=-0.073$ $P=0.774$	1	
特定生长率/% specific growth rate	$R=-0.285$ $P=0.252$	$R=-0.097$ $P=0.701$	$R=0.113$ $P=0.771$	$R=0.306$ $P=0.424$	$R=0.258$ $P=0.302$	$R=0.127$ $P=0.616$	1

注：* 表示指标间显著相关（ $P<0.05$ ）；** 表示指标间极显著相关（ $P<0.01$ ）。
Note: * means significant correlation between the indicators（ $P<0.05$ ）；** means very significant correlation between the indicators（ $P<0.01$ ）.

3 讨论

3.1 环境丰容对许氏平鲈生长的影响

生长是鱼类生命中至关重要的过程，其速度和质量反映了鱼类的生理状态，增长率可作为评估其占有资源能力的指标。快速增长对鱼类具有重要的生理意义，同一批次个体中，生长速度更快的个体，对资源的掌控能力就更强，从而在同类中处于优势等级^[13]。影响鱼类生长的环境因子包括温度、光周期、栖息地理化特征和资源分布等^[14]。复杂的栖息地环境能够减少支配地位个体与从属地位个

体之间的竞争，降低低等级个体的胁迫水平，进而改善鱼类的生长性能。如 Brockmark 等^[15]对大西洋鲑的研究发现，结构复杂环境下其生长速度更快。但是，在本研究中，礁石丰容环境对许氏平鲈幼鱼的生长性能并无显著性影响。分析认为，这可能是在试验过程中提供了充足的饵料，未出现种内高强度的食物竞争所致。鱼类个体会对环境中的食物资源产生争抢，最终导致鱼群中小个体的摄食行为受到抑制，生长缓慢。Moberg 等^[16]发现，环境丰容对鱼类的生长可能不起主导作用，投喂量及投喂频率同样是影响其生长的重要因子。

在自然界中，鱼类通过躲避捕食者和寻找足够

的食物来适应某些栖息地和环境,这种行为在日常生存中发挥着至关重要的作用。环境丰容的目标也与此有关,即在养殖环境中设置尽可能贴合原自然栖息地的结构以减少压力和攻击性,从而改善鱼类的健康、生长和发育。随着公众意识的增强和对鱼类等水产品的动物福利兴趣日益浓厚,环境丰容越来越被大众认可。有关鱼类生长福利的研究在过去二、三十年中取得了显著进展,主要以国外研究者针对大西洋鲑和虹鳟等重要的高经济价值品种为主。由于水产养殖的目标物种通常较陆地动物如牛、羊等家畜体形小,养殖方式始终围绕大规模高密度养殖,而放养密度能否提高则在很大程度上取决于实际条件。对养殖者来说,针对水产动物生长的环境丰容作为一项较为新兴的研究议题,可能会因为养殖过程中的不确定因素以及对于丰容物结构本身的清洁维护而存在争议。在圈养环境中,由于捕食压力通常较低或不存在,且食物供应与自然生活相比更为充足,因此丰容结构促进生长的作用被有些养殖者认为需要的优先程度不高。然而可以预见的是,随着研究更加深入,当实际养殖环境中所带来的好处要远超增加结构的维护成本时,环境丰容对生长福利的优点会成为其推广的最有效宣传手段。

3.2 环境丰容对许氏平鲈个性的影响

鱼类的个性与捕食者胁迫^[17]、环境^[18]等因素息息相关,且具有较高的可塑性。当鱼类所处环境或是自身生理状态发生改变时,其个性也会随之改变。环境丰容对鱼类的个性行为影响显著,尤以“胆量”为衡量标准的勇敢性最为明显。由于鱼类种间差异较大,而同种鱼类又会在选择环境丰容方式及丰容水平等条件中产生差异,因此研究结果也往往会出现不同。如大西洋鲑(*Gadus morhua*)在经过环境丰容后“胆量”变小,在庇护所停留时间更长^[19],但环境丰容也使虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的“胆量”增大了^[20]。张宗航等^[21]对许氏平鲈幼鱼趋礁行为的研究发现,一定密度下由模型礁和人造植物营造的丰容生境有利于降低其勇敢性,这有助于提升其野外放流后的存活率。但在本试验中,礁石丰容环境对许氏平鲈幼鱼的勇敢性无显著性影响。分析认为,丰容物类型和丰容水平的差异可能是造成试验结果不一致的原因。

探索性反映了鱼类对陌生环境或陌生事物的探索能力,对生存具有重要影响。Lee等^[20]使用石头和塑料植物作为丰容物,发现来自丰容水槽的虹鳟

幼鱼探索行为增加。对尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的研究也发现,贫瘠环境会减弱其探索行为^[22]。本研究结果表明,礁石丰容环境对许氏平鲈幼鱼的探索性无显著性影响。分析认为,在丰容环境中的适应时长不同可能是影响试验鱼探索性的原因。对许氏平鲈的研究发现,环境丰容25 d的试验鱼对水槽中礁体无明显反应,而环境丰容47 d的试验鱼则产生了明显的趋礁现象^[21],表现出更强的探索行为。

活跃性反映了鱼类对于领地的看护、集群、觅食和避敌等自发游泳活动。研究发现,在丰容环境中饲养的大西洋鲑,其游泳活动强度更高^[16]。但在本研究中,礁石丰容环境对许氏平鲈幼鱼的活跃性并无显著性影响,这可能与其岩礁性鱼类的行为及生态习性有关。陈勇等^[23]研究发现,许氏平鲈常停留于养殖水槽的角落及边缘区域,游泳活动较为迟缓。因此,相较于活跃程度高的鱼类,许氏平鲈的活跃性水平相对较低,可能不易受到外界环境的影响。

在圈养环境中,引入物理结构可以限制养殖个体之间的视觉接触并减少其日常活动水平,进而降低其攻击性。如对大西洋鲑(*Salmo aurata*)幼鱼的研究表明,在养殖池中添加一层玻璃砾石作为丰容物,可以有效降低其攻击性^[24]。本试验结果也发现,EE组试验鱼的攻击次数显著低于C组试验鱼,表明礁石丰容环境显著降低了许氏平鲈幼鱼的好斗性。这一研究结果也与Zhang等^[25]对许氏平鲈幼鱼的研究一致。

不同个性行为之间存在关联的特征被称为行为综合征(behavioural syndromes),其表现为在不同环境或情况下共同变化的一系列行为特征^[26],并已在广泛的动物类群(包括鱼类)中得到证实^[27]。如食蚊鱼(*Gambusia affinis*)的活跃性与探索性和勇敢性均呈显著正相关^[28]。引入新的试验环境后,谨慎个体倾向于出现保守的行为特征,而勇敢个体的探索性与活跃性密切相关^[29]。在本研究中,相关性分析发现,许氏平鲈幼鱼的勇敢性与探索性呈显著正相关,这与Sneddon^[30]对虹鳟的研究结果一致。

4 结论

1) 礁石丰容环境对许氏平鲈幼鱼的生长性能、勇敢性、探索性和活跃性均无显著性影响,但显著降低了其好斗性。

2) 许氏平鲈幼鱼的勇敢性与探索性呈正相

关,而与活跃性和好斗性均不相关。

3) 许氏平鲈幼鱼的生长性能与个性行为各指标之间均无相关性。

参考文献:

[1] 孙儒泳.动物生态学原理[M].3版.北京:北京师范大学出版社,2001:451.
SUN R Y.Principles of animal ecology[M].3rd ed.Beijing:Beijing Normal University Press,2001:451.(in Chinese)

[2] TENG S K,CHUA T E.Use of artificial hides to increase the stocking density and production of estuary grouper, *Epinephelus salmoides* Maxwell, reared in floating net cages[J].Aquaculture,1979,16(3):219-232.

[3] ROBERTS L J,TAYLOR J,GARCIA DE LEANIZ C.Environmental enrichment reduces maladaptive risk-taking behavior in salmon reared for conservation[J].Biological Conservation,2011,144(7):1972-1979.

[4] LACHANCE A A,DUTIL J D,LAROCQUE R,et al.Shelter use and behaviour of juvenile spotted wolffish (*Anarhichas minor*) in an experimental context[J].Environmental Biology of Fishes,2010,88(3):207-215.

[5] WHITE J R,MEEKAN M G,MCCORMICK M I.Individual consistency in the behaviors of newly-settled reef fish[J].PeerJ,2015,3:e961.

[6] FU Y Q,ZHANG Z H,ZHANG Z,et al.Boldness predicts aggressiveness, metabolism, and activity in black rockfish *Sebastes schlegelii*[J].Frontiers in Marine Science,2021,8:770180.

[7] BUDAEV S V,MIKHEEV V N,PAVLOV D S.Individual differences in behavior and mechanisms of ecological differentiation on the example of fish[J].Biology Bulletin Reviews,2015,5(5):462-479.

[8] 曾令清,付成,奚露,等.鳊幼鱼能量代谢和个性行为的个体变异及表型关联[J].生态学报,2017,37(14):4807-4816.
ZENG L Q,FU C,XI L,et al.Phenotypic correlations and individual variation of energy metabolism and personality in juvenile Chinese bream (*Parabramis pekinensis*) [J].Acta Ecologica Sinica,2017,37(14):4807-4816.(in Chinese)

[9] WARD A J W.Social facilitation of exploration in mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) [J].Behavioral Ecology and Sociobiology,2012,66(2):223-230.

[10] MAS-MUÑOZ J,KOMEN H,SCHNEIDER O,et al.Feeding behaviour, swimming activity and boldness explain variation in feed intake and growth of sole (*Solea solea*) reared in captivity[J].PLoS One,2011,6(6):e21393.

[11] HEG D,SCHÜRCH R,ROTHENBERGER S.Behavioral type and growth rate in a cichlid fish[J].Behavioral Ecology,2011,22(6):1227-1233.

[12] XU X W,ZHANG Z H,GUO H Y,et al.Changes in aggressive behavior,cortisol and brain monoamines during the formation of social hierarchy in black rockfish (*Sebastes schlegelii*) [J].Animals;an Open Access Journal from MDPI,2020,10(12):2357.

[13] SAIKKONEN A,KEKÄLÄINEN J,PIIRONEN J.Rapid growth of

Atlantic salmon juveniles in captivity may indicate poor performance in nature[J].Biological Conservation,2011,144(9):2320-2327.

[14] DALL S R X,HOUSTON A,MCNAMARA J.The behavioural ecology of personality:consistent individual differences from an adaptive perspective[J].Ecology Letters,2004,7:734-739.

[15] BROCKMARK S,NEREGÅRD L,BOHLIN T,et al.Effects of rearing density and structural complexity on the pre- and postrelease performance of Atlantic salmon[J].Transactions of the American Fisheries Society,2007,136(5):1453-1462.

[16] MOBERG O,BRAITHWAITE V A,JENSEN K H,et al.Effects of habitat enrichment and food availability on the foraging behaviour of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) [J].Environmental Biology of Fishes,2011,91(4):449-457.

[17] HEYNEN M,RENTROP I,BORCHERDING J.Age matters-experienced predation risk affects behavior and morphology of juvenile 0+ and 1+ perch[J].Limnologia,2014,44:32-39.

[18] 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.

[19] SALVANES A G V,BRAITHWAITE V A.Exposure to variable spatial information in the early rearing environment generates asymmetries in social interactions in cod (*Gadus morhua*) [J].Behavioral Ecology and Sociobiology,2005,59(2):250-257.

[20] LEE J S F,BEREJIKIAN B A.Effects of the rearing environment on average behaviour and behavioural variation in steelhead[J].Journal of Fish Biology,2008,72(7):1736-1749.

[21] 张宗航,董建宇,张雪梅,等.环境丰容对早期发育阶段许氏平鲈趋礁行为的影响[J].生态学报,2018,38(22):8223-8233.
ZHANG Z H,DONG J Y,ZHANG X M,et al.Effects of environmental enrichment on the distribution of *Sebastes schlegelii* in early developmental stages [J].Acta Ecologica Sinica,2018,38(22):8223-8233.(in Chinese)

[22] TATEMOTO P,VALENÇA-SILVA G,QUEIROZ M R,et al.Living with low environmental complexity increases fear indicators in Nile tilapia[J].Animal Behaviour,2021,174:169-174.

[23] 陈勇,刘晓丹,吴晓郁,等.不同结构模型礁对许氏平鲈幼鱼的诱集效果[J].大连水产学院学报,2006,21(2):153-157.
CHEN Y,LIU X D,WU X Y,et al.Distribution of Schlegel's rockfish (*Sebastes schlegelii* Hilgendorf) in different artificial reef models[J].Journal of Dalian Fisheries College,2006,21(2):153-157.(in Chinese)

[24] BATZINA A,KALOGIANNIS D,DALLA C,et al.Blue substrate modifies the time course of stress response in gilthead seabream *Sparus aurata*[J].Aquaculture,2014,420:247-253.

[25] ZHANG Z H,BAI Q Q,XU X W,et al.Effects of environmental enrichment on the welfare of juvenile black rockfish *Sebastes schlegelii*; growth, behavior and physiology [J].Aquaculture,2020,518:734782.

[26] SIH A,BELL A,JOHNSON J C.Behavioral syndromes;an ecological and evolutionary overview[J].Trends in Ecology & Evolution,2004,19(7):372-378.

[27] HUNTINGFORD F A.The relationship between anti-predator behaviour and aggression among conspecifics in the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* [J]. Animal Behaviour, 1976, 24(2):245-260.

[28] COTE J, FOGARTY S, WEINERSMITH K, et al. Personality traits and dispersal tendency in the invasive mosquitofish (*Gambusia affinis*) [J]. Proceedings Biological Sciences, 2010, 277(1687): 1571-1579.

[29] CONRAD J L, WEINERSMITH K L, BRODIN T, et al. Behavioural syndromes in fishes: a review with implications for ecology and fisheries management [J]. Journal of Fish Biology, 2011, 78(2): 395-435.

[30] SNEDDON L U. The bold and the shy: individual differences in rainbow trout [J]. Journal of Fish Biology, 2003, 62(4): 971-975.

Effects of environmental enrichment on growth and personality of juvenile rockfish (*Sebastes schlegelii*)

WEI Tao¹, LI Jinyao¹, JIA Biao¹, HAN Yanke¹, TIAN Tao^{1,2}, YU Xiaoming^{1,2*}

(1. Center for Marine Ranching Engineering Science Research of Liaoning Province, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China; 2. Key Laboratory of Environment Controlled Aquaculture, Ministry of Education (Dalian Ocean University), Dalian 116023, China)

Abstract : To investigate the influence of environmental enrichment on the growth and personalities of juvenile rockfish *Sebastes schlegelii*, the growth performance (weight gain rate, and specific growth rate) and personal behavior traits (bravery, exploration, activeness, and aggressiveness) were investigated in the test fish with body weight of (7.25±1.89) g injected intraperitoneally with a passive integrated transponder (PIT) disposed in two plastics tanks of each 100 cm in length × 90 cm in width × 70 cm in height (environmental enrichment group, EE) and without (control group, C) irregularly shaped black reef of 50 cm diameter at water temperature of (14.26 ± 0.12) °C for 8 weeks. The results showed that there was no significant difference in weight gain rate and specific growth rate in the test fish between the EE and C groups, with significantly lower attack frequency in the EE group (44.44±9.30) than that in the C group (166.11±55.92) (*P*<0.05). Correlation analysis revealed that the open area residence time ratio of the test fish was found to be positively correlated with the number of times they swam out of the sheltered area (*P*<0.05). The time ratio of first approach to unfamiliar objects was shown to be negatively correlated with the time ratio of staying in open areas and the number of times swimming out of sheltered areas (*P*<0.05), while it was positively correlated with the average distance from unfamiliar organisms (*P*<0.05). It was found that there was significant reduce in the aggressiveness of the test fish in C group, without significant effect of environmental enrichment on the growth performance, bravery, exploratory ability, and activity of juvenile *Sebastes schlegelii* in C group. The test fish had positive correlation with bravery and exploratory nature, and did not have correlation with activity and aggressiveness, without correlation between the growth performance and individual behavior indicators in the test fish.

Key words : *Sebastes schlegelii*; environmental enrichment; growth; personality