

doi: 10.7541/2021.2020.068

## 黑斑原鲮仔稚鱼藏匿行为研究

席杰<sup>1,2</sup> 郑宗林<sup>2</sup> 牟振波<sup>1</sup> 刘飞<sup>1</sup> 刘欣苑<sup>3</sup> 申剑<sup>4</sup> 刘海平<sup>1</sup> 周燕<sup>2</sup>

(1. 西藏自治区农牧科学院, 水产科学研究所, 拉萨 850000; 2. 西南大学水产学院, 重庆 402460; 3. 武汉中科瑞华生态科技股份有限公司, 武汉 430062; 4. 华电西藏能源有限公司, 拉萨 850000)

**摘要:** 文章研究了黑斑原鲮 (*Glyptosternum maculatum*) 仔稚鱼对缝隙的喜好行为、对底质颜色及种类的选择行为, 旨在优化苗种培育模式, 改善其养殖条件。结果表明: 黑斑原鲮仔稚鱼对缝隙的喜好日间(7:00—20:00)显著高于夜间(21:00—6:00;  $P < 0.05$ ); 开口22d、23d和25—30d对缝隙无喜好行为( $P > 0.05$ ), 且夜间(开口6d、11—13d除外)对缝隙无喜好行为( $P > 0.05$ ); 开口12d、13d、15d和24d仔稚鱼表现出对较小缝隙(0.9 cm)的喜好性( $P < 0.05$ ); 开口2d和3d仔稚鱼表现出对底层缝隙的喜好性( $P < 0.05$ ); 开口5d、6d、8—21d和24d仔稚鱼表现出对表层缝隙的喜好性( $P < 0.05$ ); 在(400±50) lx光补偿条件下仔稚鱼对底质颜色无明显的喜好性; 在(10±2) lx光补偿条件下仔稚鱼对黑色底质的喜好性显著高于白色底质( $P < 0.05$ )。仔稚鱼日间具有较强的藏匿行为, 喜好藏匿于较小的缝隙中, 并在弱光补偿条件下喜好黑色底质。仔稚鱼的藏匿特点, 为优化苗种培育和改善苗种培育环境提供了重要的科学依据。

**关键词:** 黑斑原鲮; 仔稚鱼; 缝隙; 底质颜色; 光补偿; 底质种类; 藏匿行为

中图分类号: S965.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2021)05-1129-09



鱼类行为学研究在实践中有重大现实意义, 通过对鱼类行为习性的观察, 有利于改善鱼种培育条件, 提高苗种培育成活率。刘全圣等<sup>[1]</sup>研究了黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)的早期发育行为, 对池塘修整、苗种放养及生产管理做出了改良措施, 对比方法改进前黄颡鱼成活率提高了32%。王雪婷等<sup>[2]</sup>提出, 适宜的角落空间资源可以降低克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)的打斗频率, 提高成活率。魏开建等<sup>[3]</sup>的研究表明, 鳊(*Siniperca chuatsi*)对不同照度下不同光色的趋向性是不同的, 适宜的光色可以将鳊鱼苗诱离残饵污物区方便清污、提高分箱操作的效率, 或者引诱鳊鱼到较集中的区域摄食, 有利于提高摄食率。段妍<sup>[4]</sup>对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)游泳行为的观察, 发现虾类具有趋流性, 它们能根据水流速度和方向调整自身的游泳游速和方向。基于此观点设计出一种涡流式活虾运输装置, 从而有效防止高密度运输过程中对虾的局部过度集中造成的死亡。刘佳<sup>[5]</sup>对多棘海盘车

(*Asterias amurensis*)的摄食选择行为研究发现, 其对小规格21—26 mm的太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)和紫贻贝(*Mytilus edulis*)选择指数、捕食速率和日平均摄食率明显高于其他体长组。在自然界中有各种因素导致鱼类经常面临食物资源短缺的环境胁迫, 王蕾等<sup>[6]</sup>发现饥饿迫使中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)群体提高凝聚力和协调性, 可能有助于提高群体的生存能力。

为了生存和繁衍, 鱼类行为策略是长期进化过程中自然选择的结果。藏匿行为是一些鱼类赖以生存的基本行为。从食物链的角度划分, 藏匿行为可以分为2种类型: 一是被捕食生物为了逃避敌害而采取的防御行为, 是鱼类主要反捕食策略之一<sup>[7,8]</sup>; 二是捕食生物为了更好地猎取食物而采取的藏匿行为<sup>[9]</sup>。鱼类的藏匿行为无论是捕食其他生物还是防止被捕食, 都是适应环境得以生存的结果。藏匿行为可以躲避敌害。大多数鱼类普遍存在着“高繁殖力和早期发育阶段成活率低的现象”。庄平<sup>[10]</sup>的

收稿日期: 2020-04-10; 修订日期: 2020-07-16

基金项目: 2019年度西藏自治区科技厅重点研发项目《拉萨河流域及其附属湿地渔业资源调查与保护》(XZ201902NB02)资助  
[Supported by the Key R & D Project of Science and Technology Department of Tibet Autonomous Region in 2019, Investigation and Protection of Fishery Resources in Lhasa River Basin and its Affiliated Wetlands (XZ201902NB02)]

作者简介: 席杰(1995—), 男, 硕士研究生; 主要研究方向为鱼类行为学。E-mail: 137244584@qq.com

通信作者: 刘海平(1981—), 男, 博士研究生, 研究员; 主要研究方向为西藏渔业资源养护。E-mail: luihappy@163.com

研究发现, 中华鲟(*Acipenser sinensis*)、史氏鲟(*Acipenser schrenckii*)的繁殖季节来临, 大量的敌害鱼类在其产卵场聚集吞食其鱼卵和鱼苗, 刚孵出的鱼苗游泳能力非常弱, 只能藏匿于石缝等隐蔽场所躲避捕食。另外, 藏匿行为可以规避恶劣的自然环境, 鱼类常常藏匿于石缝中躲避洪水<sup>[11]</sup>。藏匿行为相对于觅食状态, 还可以大大减少维持日常代谢的消耗<sup>[12, 13]</sup>, 有研究表明<sup>[14]</sup>, 给大西洋鲑(*Salmo salar*)幼鱼提供适当的庇护所, 不仅降低了被捕食的风险, 而且通过降低其警惕性减少了能量的消耗, 从而可能对它们的生长性能产生影响。

黑斑原鲢(*Glyptosternum maculatum*)隶属鲇形目(Siluriformes)、鲃科(Sisoridae)、原鲃属(*Glyptosternum*), 别名有石扁头、巴格里、帕里尼阿(Palinia, 藏语译音)、拉鲃和藏鲃等。为西藏主要的土著经济物种之一, 主要分布于我国西藏的雅鲁藏布江流域及印度的布拉马普特拉河(Brahmaputra, 雅鲁藏布江进入印度后的称谓)和Skili河<sup>[15]</sup>。在我国, 仅在雅鲁藏布江拉孜、谢通门、拉萨、江孜、日喀则、林芝和墨脱等江段及拉萨河、尼洋河等支流发现<sup>[16]</sup>。黑斑原鲢肉质鲜美、肌间刺少, 是西藏地区重要的冷水性经济鱼类, 具有较高的营养价值和经济价值。20世纪对黑斑原鲢的研究主要涉及在生物地理学、分类学、进化和系统演化方面<sup>[11, 16, 17]</sup>。国内外学者通过对地理分布、形态特征、骨骼性状及系统发育等方面的分析, 运用分支系统学原理和生物地理学等方法分析, 推断出原鲃属(黑斑原鲢)为鲇鱼中最原始的种类<sup>[11, 17-19]</sup>。近些年来我国学者对黑斑原鲢的形态<sup>[20]</sup>、年龄与生长<sup>[21]</sup>、性腺发育<sup>[22]</sup>、繁殖<sup>[21, 23]</sup>、遗传<sup>[24-26]</sup>、食性<sup>[15]</sup>、消化生理<sup>[27]</sup>及生理生化<sup>[28]</sup>特性等生物学方面做了大量研究。但由于其生长缓慢、性成熟较晚、人工繁殖及驯化困难, 再加上过度捕捞及外来物种入侵等原因<sup>[29, 30]</sup>, 导致黑斑原鲢种群恢复力较差, 分布区域迅速缩小, 已成为极度濒危物种<sup>[31]</sup>。目前对黑斑原鲢的养护措施有如下几种办法: 第一、加强颁布渔业法规, 合理利用渔业资源; 第二、在繁殖季节, 鱼类分布的主要江段禁渔休渔; 第三、建立水产种质资源保护区; 第四、开展人工繁殖和增殖放流<sup>[15]</sup>。虽然黑斑原鲢的人工催产、授精和孵化等技术已经取得初步突破<sup>[32]</sup>, 但是苗种培育成活率极低, 幼苗死亡原因还未发现, 人工养殖技术“瓶颈”还未突破。因此, 研究黑斑原鲢早期个体发育行为特征, 对改进黑斑原鲢苗种培育方法, 提高苗种培育成活率等具有重要的现实意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验装置

(1)对缝隙的喜好性研究。采用圆柱形玻璃水槽进行实验, 水槽直径为15 cm, 实验时水深为30 cm(图1), 水槽侧壁内侧相对的边缘设置2个宽度分别为0.9和1.2 cm的缝隙缝隙深度为(0.7±0.1) cm。(2)对底质种类的喜好性研究。实验水槽是通过观察黑斑原鲢的行为特征后设计的圆形水槽(图2), 半径是20 cm, 该水槽的深度是20 cm。底部均匀地分为四等份, 分别覆盖0.8 cm厚的泥土和石头。石头为鹅卵石直径在(0.4±0.2) cm。(3)在不同光强下对底质颜色的喜好性研究。光照强度用水下照度计ZDS-10W-2D测量。实验水槽底部分别铺上黑、白和灰三种不同颜色的大理石板(图3)。光源由40 W的LED灯提供, 调节LED灯的位置直到光照强度符合实验要求。

### 1.2 实验材料

**实验动物** 黑斑原鲢亲鱼捕自雅鲁藏布江, 经暂养后, 未达到生理成熟的亲鱼采取注射催产剂催产, 达到生理成熟的亲鱼进行人工授精。受精卵

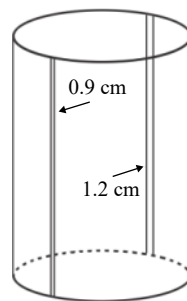


图1 缝隙选择实验装置示意图

Fig. 1 Hidden schematic diagram of experimental device



图2 底质选择实验装置模式图

Fig. 2 Top view of test tank for the substrate preference

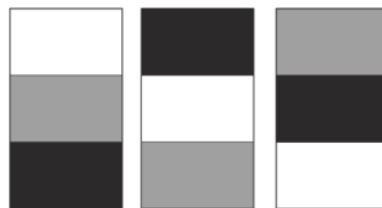


图3 底质颜色选择实验装置模式图

Fig. 3 Top view of test tank for the background colors preference

孵化及出膜后暂养, 均在平列槽中, 平列槽保持流水环境温度保持在 $(13\pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ , 氨氮 $<0.15\text{ mg/L}$ , 亚硝酸盐 $<0.05\text{ mg/L}$ , 溶解氧 $>6.0\text{ mg/L}$ 。实验用鱼来自同一批人工孵化仔鱼, 5月30号产卵, 6月11号出膜, 6月29号开口摄食。

**实验饲料** 实验期间投喂微颗粒饲料(表 1)。前3天投喂S-1饲料(适用于6—10 mm仔鱼), 开口3d后投喂S-2饲料(适用于9—14 mm仔鱼), 实验鱼每天晚上8点投喂1次。

表 1 微颗粒饲料营养成分

Tab. 1 Nutrient composition of micro pellet feed

| 营养成分Nutritional component | 含量Content (%) |
|---------------------------|---------------|
| 粗蛋白质Crude protein         | $\geq 50$     |
| 粗脂肪Crude fat              | $\geq 8$      |
| 粗灰分Crude ash              | $\leq 16.5$   |
| 粗纤维Crude fiber            | $\leq 3$      |
| 钙Calcium                  | $\leq 5$      |
| 总磷Total phosphorus        | $\geq 1$      |
| 水分Water content           | $\geq 12$     |
| 赖氨酸Lysine                 | $\geq 2$      |

### 1.3 实验方法

**对缝隙的喜好性研究实验** 从开口后第2天开始至第30天结束。每日8:00、12:00和16:00(记为日间数据)及20:00、24:00和4:00(记为夜间数据, 由于拉萨日照长度比较长, 20:00时环境亮度受天气影响变化较大, 处理数据时舍弃该时间点的数据)开始实验。在实验开始时, 随机挑选10尾健康实验鱼放入实验装置, 待实验鱼适应环境1h后观察记录受试鱼分布于0.9 cm缝隙、1.2 cm缝隙及非缝隙区域的数量, 同时统计栖息于底层缝隙(0—15 cm水层)和表层缝隙(15—30 cm水层)受试鱼数量。每次实验更换实验鱼, 保证同1尾鱼只参与1次实验。每个时间点重复3次, 每次重复交换0.9和1.2 cm缝隙的位置。实验期间使用萤石CS-C3HW摄像头记录实验鱼分布情况, 避免人为干扰影响实验结果。

**对底质种类的喜好性研究** 实验从开口后第13天开始, 持续10d结束。在实验时, 设置4个重复组, 每个重复放入10尾稚鱼, 实验期间使用萤石CS-C3HW摄像头记录, 通过视频影像记录24h, 每小时观察记录1次, 记录时刻为00:30、01:30和02:30依次类推, 只记录在不同底质中分布仔稚鱼的数量。以每天所记录的底质分布百分比平均值表示该日龄黑斑原鲖对底质的喜好性选择。实验期间不更换实验鱼。实验时每天晚上8:00投喂1次, 每次投喂过量的微颗粒饲料, 第二天早上利用虹吸法

吸除残饵, 换水30%, 以保证实验条件环境稳定。在整个实验过程中不补充实验鱼。统计不同底质中实验鱼数量的平均数, 作为其对不同底质的选择性的指标。用GraphPad Prism 8作图表示黑斑原鲖仔稚鱼在1天中不同底质上分布情况。

**在不同光强下对底质颜色的喜好性研究** 实验从开口1周后开始, 持续10d结束。每天喂食结束后开始实验。每次分别在 $(400\pm 50)\text{ lx}$ 光补偿和 $(10\pm 2)\text{ lx}$ 光补偿条件下进行黑斑原鲖仔稚鱼对黑白灰三种不同颜色底质偏好实验。光照强度用水下照度计ZDS-10W-2D测量。每个条件进行3组平行实验, 每个平行组放入9条实验鱼。3个平行组之间黑白灰三种颜色的顺序不同(图 3), 消除不同位置对实验结果科学性的影响。在水槽中心的正上方使用萤石CS-C3HW摄像头记录实验鱼的行为。通过视频回放, 记录实验鱼适应环境后所分布不同颜色底质的数量。统计不同底质颜色中实验鱼数量的平均数, 作为其对不同底质颜色的选择性的指标。

### 1.4 数据统计与分析

实验结果用SPSS 20检验差异性( $P<0.05$ ); GraphPad Prism 8做柱状图表示黑斑原鲖仔稚鱼对缝隙、底质种类和底质颜色的喜好性。

## 2 结果

### 2.1 对缝隙的喜好性研究实验

**不同开口天数仔稚鱼日间和夜间对缝隙喜好性** 整个实验期间黑斑原鲖仔稚鱼对缝隙的喜好日间显著高于夜间( $P<0.5$ ; 图 4), 开口2—21d、24d日间黑斑原鲖仔稚鱼显著喜好缝隙( $P<0.5$ ), 开口22d、23d、25—30d, 对缝隙无喜好行为( $P\geq 0.5$ ; 图 5A)。且整个实验期间夜间(开口6d、11—13d除外)对缝隙无喜好行为( $P\geq 0.5$ ; 图 5B)。

**不同开口天数仔稚鱼日间对大小不同的两种缝隙喜好性** 开口12d、13d、15d、24d黑斑原鲖仔稚鱼表现出对0.9 cm的喜好性( $P<0.05$ ); 开口2—11d、14d、16—21d黑斑原鲖仔稚鱼0.9和1.2 cm的喜好无显著差异( $P\geq 0.05$ ; 图 6)。

**不同开口天数仔稚鱼日间对表层、底层缝隙的喜好性** 开口5d、6d、8—21d、24d黑斑原鲖仔稚鱼表现出对表层缝隙的喜好性( $P<0.05$ ); 开口2d、3d黑斑原鲖仔稚鱼表现出对底层缝隙的喜好性( $P<0.05$ ); 开口第4和第7天黑斑原鲖仔稚鱼栖息于表层和底层缝隙的百分比无显著差异( $P\geq 0.05$ ; 图 7)。

### 2.2 仔稚鱼对底质种类的喜好性研究

全天黑斑原鲖仔稚鱼选择石头底质且差异显



著( $P<0.05$ ); 日间7:00—20:00实验鱼几乎全藏匿于石头底质中, 晚上21:00至第二日6:00实验鱼在细沙底质上分布数量百分比逐渐增多(图8)。

### 2.3 仔稚鱼在不同光强下对底质颜色的喜好性研究

在 $(400\pm50)$  lx光补偿条件下黑斑原鲖仔稚鱼对底质颜色无明显的喜好性( $P\geq 0.05$ ); 在 $(10\pm2)$  lx光补偿条件下黑斑原鲖仔稚鱼对黑色底质的喜好性

显著于白色底质( $P<0.05$ ); 在 $(10\pm2)$  lx光补偿条件下黑斑原鲖仔稚鱼对黑色与灰色底质, 灰色与白色喜好性不显著(表2)。

## 3 讨论

### 3.1 黑斑原鲖对缝隙的喜好性

在整个实验期间, 黑斑原鲖仔稚鱼在夜间未表

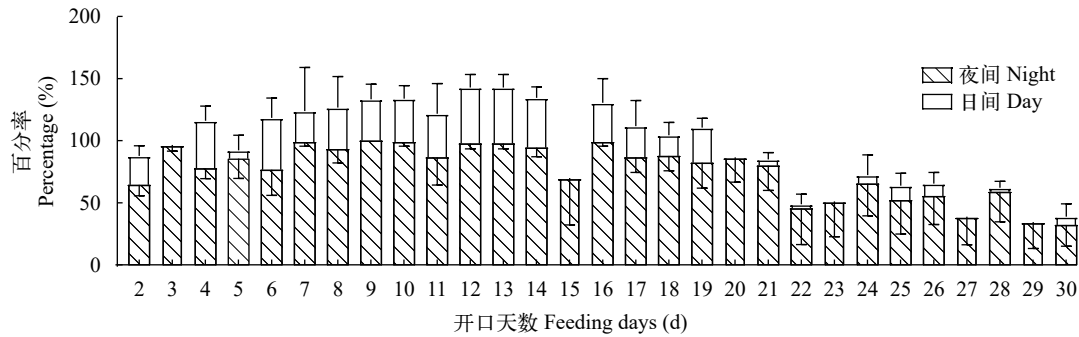


图4 不同开口天数黑斑原鲖仔稚鱼在缝隙中分布百分比

Fig. 4 The percentage of *Glyptosternum maculatum* larvae with different feeding days in gaps

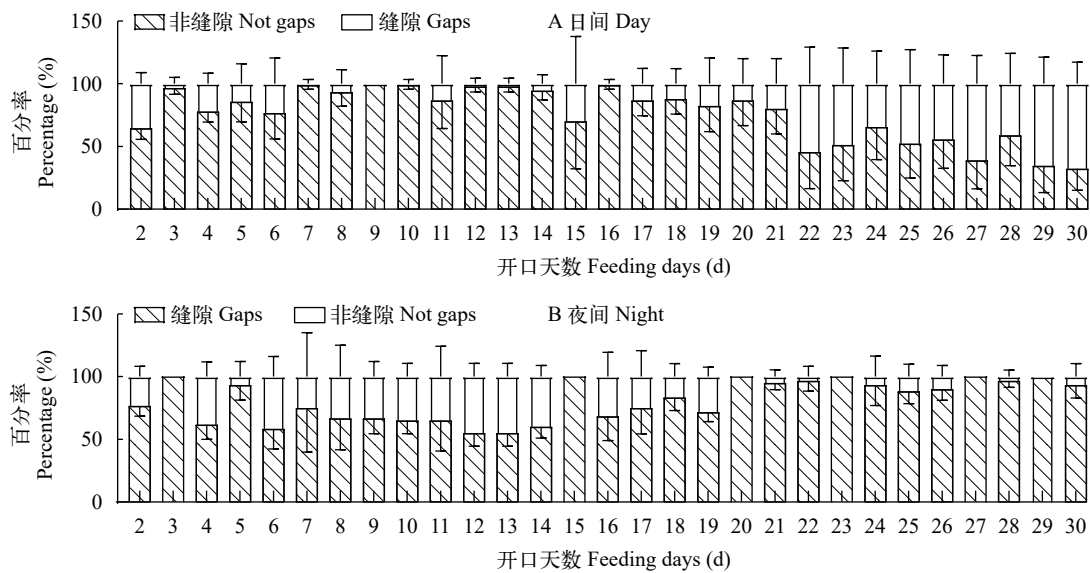


图5 不同开口天数黑斑原鲖仔稚鱼在缝隙与非缝隙中分布百分比

Fig. 5 The percentage of *Glyptosternum maculatum* larvae with different feeding days in gaps and non-gap

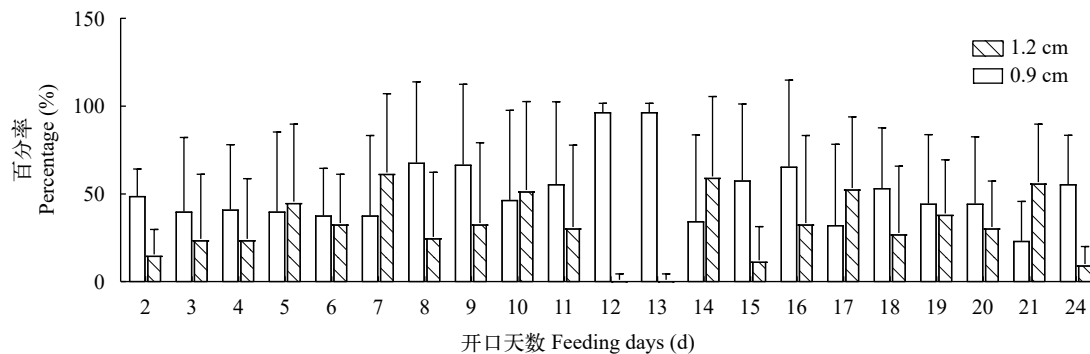


图6 不同开口天数黑斑原鲖仔稚鱼日间在0.9 cm和1.2 cm缝隙中分布百分比

Fig. 6 The percentage of *Glyptosternum maculatum* larvae with different feeding days in 0.9 cm and 1.2 cm by day

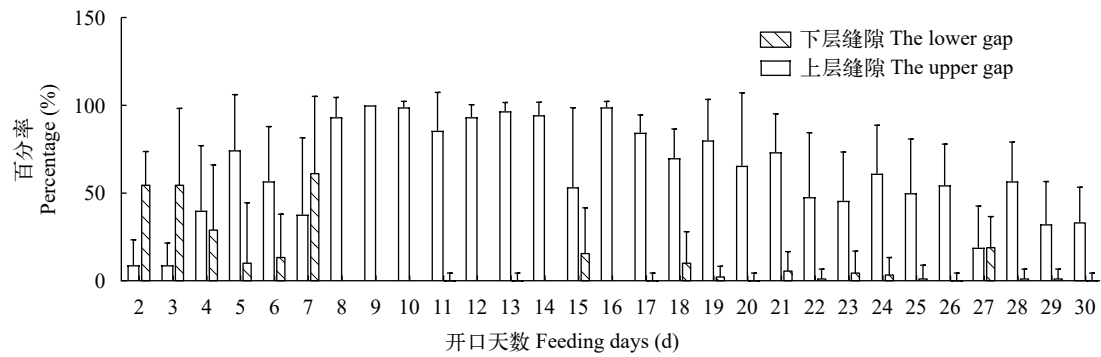


图 7 不同开口天数黑斑原鲷仔稚鱼在表层缝隙中分布百分比

Fig. 7 The percentage of *Glyptosternum maculatum* larvae with different feeding days in surface gaps

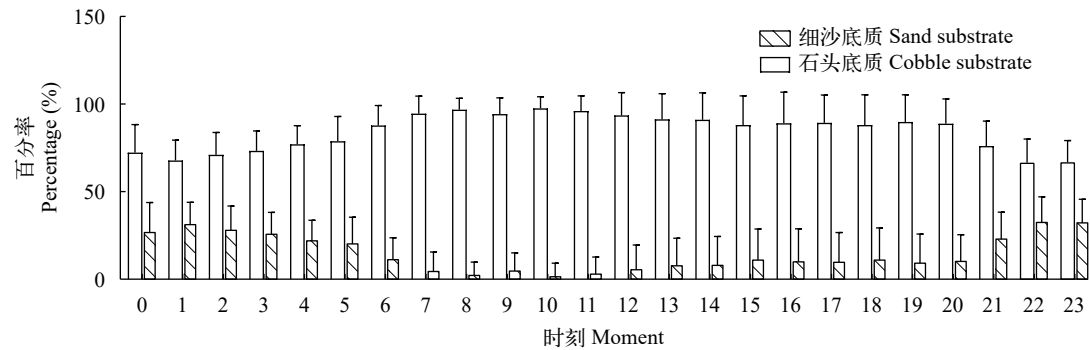


图 8 不同时刻黑斑原鲷仔稚鱼在不同底质中分布百分比

Fig. 8 The percentage of *Glyptosternum maculatum* larvae with different moments in different substrates

表 2 黑斑原鲷仔稚鱼在不同底质颜色分布百分比

Tab. 2 The percentage of *Glyptosternum maculatum* larvae in different background colors (%)

| 光补偿强度Light compensation intensity (lx) | 黑色Black                | 灰色Gray                  | 白色White                |
|----------------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 400±50                                 | 41.1±38.1              | 29.5±32.7               | 30.2±33.2              |
| 10±2                                   | 46.7±44.4 <sup>a</sup> | 33.8±33.2 <sup>ab</sup> | 19.5±26.3 <sup>b</sup> |

注: 表中数据为3个重复的平均值; 同一行相同右上角含有相同英文上标字母或无上标表示无显著差异( $P \geq 0.05$ )

Note: Data are means of triplicates. Means in each bar sharing the same superscript letter or absence of superscripts are not significantly different determined by Tukey's test ( $P \geq 0.05$ )

现出对缝隙的喜好, 在实验槽的各个部位都有分布, 并且非常活跃地游动, 这说明黑斑原鲷有较强的夜间活动习性。这与褚新洛<sup>[11]</sup>的描述是一致的: 鳊鲷鱼类发展夜间活动习性, 既增加了活动范围, 又避免了不利的影响。本研究还发现, 在6:00—8:00光照强度逐渐增强的过程中, 实验鱼逐渐游至缝隙中并在缝隙中聚集, 表现出对缝隙的喜好行为。在整个实验期间的日间, 黑斑原鲷仔稚鱼会在缝隙中集群。狭窄的缝隙环境可以给其提供安全感。研究表明, 集群行为可以增强鱼类的防御能力和攻击力, 降低被捕食概率等<sup>[33]</sup>。因此, 对缝隙的喜好及集群行为对黑斑原鲷繁衍后代和维持种群有着重

要的意义。然而, 随着群体规模的增加, 资源的竞争也随之加剧<sup>[34]</sup>。

本研究结果显示, 开口12d、13d、15d和24d黑斑原鲷仔稚鱼表现出对0.9 cm的喜好性; 开口2—11d、14d和16—21d黑斑原鲷仔稚鱼对0.9和1.2 cm的喜好无显著差异; 整个实验期间未发现仔稚鱼对1.2 cm的缝隙产生喜好行为, 这说明黑斑原鲷仔稚鱼更倾向于喜好相对较小的缝隙。这一结果与刘全圣<sup>[35]</sup>的研究结果较为相似, 指出研究的2—7日龄的黄颡鱼日间对0.3 cm的缝隙显著高于对0.5 cm缝隙的喜好。张俊波等<sup>[36]</sup>发现没有缝隙的人工参礁相对于有缝隙人工参礁对刺参(*Stichopus japonicus*)的诱集效果差, 刺参对礁体的选择主要取决于礁体提供的空隙、阴影处面积的大小及光亮度。本实验中也有类似发现, 实验鱼一般会选择光照相对比较弱的缝隙。影响黑斑原鲷对缝隙的选择, 除了缝隙的大小以外, 光照的强弱也可能是一个因素。

本研究发现黑斑原鲷仔稚鱼喜欢表层缝隙, 这与褚新洛<sup>[11]</sup>描述的黑斑原鲷为中底栖鱼类不相符。黑斑原鲷的生境为高山峡谷, 陡坡急流<sup>[11]</sup>, 往往这种环境水中溶氧丰富。但是黑斑原鲷仔稚鱼在缝隙中集群, 很容易造成局部缺氧, 而表层溶氧相对来说比较丰富, 所以在实验中, 仔稚鱼表现

出对表层缝隙的喜好。仔稚鱼喜好表层缝隙是否是因为对溶氧的需求造成的, 还需要进一步的研究。

### 3.2 对底质种类及颜色的喜好性

底质可以对水产动物产生有利或不利影响, 有研究表明, 沙底质组凡纳滨对虾的存活率、增重率及特定生长率均显著高于无底质组<sup>[37, 38]</sup>。泥底质会影响蚌类的爬行, 从而影响蚌类的摄食<sup>[39]</sup>。Huehner<sup>[40]</sup>认为蚌类对底质的选择会影响蚌类的发育。本实验结果表明黑斑原鲢稚鱼在0:00—23:00都显著喜欢石头底质, 日间(7:00—20:00)实验鱼几乎全藏匿于石头底质中, 夜间(21:00—6:00)实验鱼在细沙底质上才有少部分分布。出现这种情况主要有以下几种原因: 首先, 黑斑原鲢产卵场一般选择在河段有卵石堆的地方<sup>[15, 34]</sup>, 这也说明野生黑斑原鲢仔稚鱼极有可能在乱石堆中孵化和发育。石头为黑斑原鲢仔稚鱼提供了很好的庇护场所, 野生环境石头缝隙中也藏匿了其他生物, 为黑斑原鲢仔稚鱼提供了生长发育所需要的饵料。其次, 黑斑原鲢属于无磷鱼类, 沙质底质容易擦伤体表皮肤, 而石头底质更有利于其藏匿及贴附。对于庸鲽的研究也表明鱼类对底质的选择与鱼类体表皮肤的健康有关, Ottesen等<sup>[41]</sup>对于不同类型介质对庸鲽体表的擦伤数目的研究中发现, 以细沙为底质的实验组死亡率最高。再次, 鳊鱼生活环境的特點是高山峡谷, 陡坡急流, 枯洪流量相差悬殊, 这种严酷的环境严重地威胁着鱼类的生存<sup>[11]</sup>。巨石缝隙成为鱼类躲避洪水的良好场所。

在养殖黑斑原鲢仔稚鱼的过程中, 对其行为的观察发现, 仔稚鱼在平列槽底部颜色较深的地方聚集的比较多。根据这种现象, 推断黑斑原鲢喜好藏匿或喜好黑色背景的环境中。鱼类对不同颜色的底质有不同的选择行为, 依靠视觉选择饵料的鱼类, 如短吻鲟(*Acipenser brevirostrum*)、达氏鳇(*Huso dauricus*)、史氏鲟和中华鲟仔鱼, 偏好选择白色底质, 因为白色底质与的细小饵料反差较大, 饵料更容易被发现和捕获<sup>[42—45]</sup>。4日龄和7—18日龄胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)对白色底质的选择性较高<sup>[46]</sup>。瓦氏黄颡鱼在流水(0.3 m/s)有光补偿(140 lx)的条件下显著喜好黑色底质<sup>[47]</sup>。

为了确证推断, 本文分别在强光补偿(模拟日间光环境)和弱光补偿(模拟夜间光环境)下, 探究黑斑原鲢仔稚鱼对黑白灰三种颜色底质喜好行为的研究。实验结果表明在强的光补偿(400±50) lx条件下黑斑原鲢仔稚鱼对底质颜色无明显的喜好性; 在弱光补偿(10±2) lx条件下黑斑原鲢仔稚鱼明显喜好黑色底质。这说明在强光下, 黑斑原鲢仔稚鱼无法

区分底质颜色。仔稚鱼在弱光补偿条件下喜好黑色底质有两种猜测, 一种是不同底质吸收的光的多少是不同的, 深色底质吸收的光要比浅色底质吸收的光多一些, 反射出的光强度就要小一些, 所以黑斑原鲢仔稚鱼对黑色底质的喜好性也间接反映了它的负趋光性。另一种猜测是黑色底质与黑斑原鲢体色比较接近, 选择与自己体色相近的底质也是一种藏匿行为。有研究报道, 负趋光性鱼类一般为底栖鱼类, 依靠嗅觉于夜间摄食, 如底栖鱼类革胡子鲶(*Clarias lazera*)、大口鲶(*Silurus meridionalis*)和黄颡鱼等均在晚上摄食活跃<sup>[48—50]</sup>。选择黑色底质意味着鱼类更难依靠视觉发现食物或者捕获猎物, 进一步说明了黑斑原鲢是依靠嗅觉来寻找食物的。

### 3.3 对黑斑原鲢苗种培育技术改良建议

在黑斑原鲢仔稚鱼养殖过程中, 提供更多的缝隙或者藏匿物供其藏匿, 使用黑色或深色的底质, 为其提供一个相对有安全感的环境, 避免养殖环境无法藏匿, 使其长期处于应激状态。增加养殖环境中的水流量, 防止因为大量聚集在一起导致局部缺氧。由于黑斑原鲢仔稚鱼喜好缝隙, 所以要保证缝隙表面光滑, 避免由于经常摩擦造成的皮肤磨损和溃烂。

### 参考文献:

- [1] Liu Q S, He X G, Deng M, *et al.* Hiding behavior and swimming aqueous layers of yellow catfish larvae and juveniles [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2017, **36**(1): 98-102. [刘全圣, 何绪刚, 邓闵, 等. 黄颡鱼仔稚鱼对缝隙和水层的栖息选择行为 [J]. 华中农业大学学报, 2017, **36**(1): 98-102.]
- [2] Wang X T, Cheng C, Huang C. Relationship between corner space and living conditions in red swamp crawfish (*Procambarus clarkii*) [J]. *Fisheries Science*, 2010, **29**(6): 348-351. [王雪婷, 程琛, 黄成. 角落空间与克氏原螯虾生活状况的关系 [J]. 水产科学, 2010, **29**(6): 348-351.]
- [3] Wei K J, Zhang G R, Zhang H M. Studies on the phototactic characteristics of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) during different development stages [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2001, **20**(2): 164-168. [魏开建, 张桂蓉, 张海明. 鳊鱼不同生长阶段中趋光特性的研究 [J]. 华中农业大学学报, 2001, **20**(2): 164-168.]
- [4] Duan Y. Experimental studies on the swimming performance and physio-ecology of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012: 120-127. [段妍. 凡纳滨对虾游泳行为为生理生态学实验研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012: 120-127.]
- [5] Liu J. Preliminary study of foraging behavior and reproductive biology of the sea star *Asterias amurensis* [D].

- Qingdao: Ocean University of China, 2012: 13-32. [刘佳. 多棘海盘车摄食行为和繁殖生物学的初步研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012: 13-32.]
- [6] 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. [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.]
- [7] Cowan J, Brown G. Foraging trade-offs and predator inspection in an ostariophysan fish: switching from chemical to visual cues [J]. *Behaviour*, 2000, **137**(2): 181-195.
- [8] Figueiredo B R S, Mormul R P, Thomaz S M. Swimming and hiding regardless of the habitat: prey fish do not choose between a native and a non-native macrophyte species as a refuge [J]. *Hydrobiologia*, 2015, **746**(1): 285-290.
- [9] He D R, Cai H C. Fish Behavior [M]. Xiamen: Xiamen University Press, 1998: 236-239. [何大仁, 蔡厚才. 鱼类行为学 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1998: 236-239.]
- [10] Zhang P. Ontogenetic behavior of sturgeons (*Acipenseridae*) with comments on evolutionary and practical significance [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 1999: 73-76. [庄平. 鲟科鱼类个体发育行为学及其在进化与实践上的意义 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 1999: 73-76.]
- [11] Chu X L. Systematics and evolutionary pedigree of the Glyptosternoid fishes (Family Sisoridae) [J]. *Zoological Systematics*, 1979, **4**(1): 72-81. [褚新洛. 鲮鱼类的系统分类及演化谱系, 包括一新属和一新亚种的描述 [J]. 动物分类学报, 1979, **4**(1): 72-81.]
- [12] Maximino C, Brito T, Moraes F, *et al.* A comparative analysis of the preference for dark environments in five teleosts [J]. *International Journal of Comparative Psychology*, 2007, **20**(4): 351-367.
- [13] Maximino C, de Brito T M, Colmanetti R, *et al.* Parametric analyses of anxiety in zebra fish scototaxis [J]. *Behavioural Brain Research*, 2010, **210**(1): 1-7.
- [14] Millidine K J, Armstrong J D, Metcalfe N B. Presence of shelter reduces maintenance metabolism of juvenile salmon [J]. *Functional Ecology*, 2006, **20**(5): 839-845.
- [15] Xie C X. Studies on the Biodiversity and Conservation Techniques of *Glyptosternum maculatum* in the Yarlung Zangbo River [M]. Beijing: Science Press, 2016: 203-205. [谢从新. 雅鲁藏布江黑斑原鲌的生物多样性及养护技术研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2016: 203-205.]
- [16] Wu X W, He M J, Chu X L. On the fishes of sisoridae from the region of Xizang [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1981(1): 76-81. [伍献文, 何名巨, 褚新洛. 西藏地区的鲌科鱼类 [J]. 海洋与湖沼, 1981(1): 76-81.]
- [17] L H S, G S E. Evolution and distribution of Glyptosternoid fishes of the family Sisoridae (Order: Siluroidea) [J]. *Proceedings of the National Institute of Sciences of India*, 1952, **18**(4): 309-322.
- [18] He S. The phylogeny of the glyptosternoid fishes (Teleostei: Siluriformes, Sisoridae) [J]. *Cybiurn*, 1996, **20**(2): 115-159.
- [19] He S, Cao W, Chen Y. The uplift of Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and the vicariance speciation of glyptosternoid fishes (Siluriformes: Sisoridae) [J]. *Science in China Series C: Life Sciences*, 2001, **44**(6): 644-651.
- [20] Liu H P. The observation of external morphology and the skeleton anatomy of *Glyptosternum maculatum* (Regan) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008: 102-117. [刘海平. 黑斑原鲌外部形态学观察和骨骼解剖学研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2008: 102-117.]
- [21] Li H J. Studies on the biology and population ecology of *Glyptosternum maculatum* (Regan) in the Brahmaputra River, China [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008: 45-61. [李红敬. 黑斑原鲌个体生物学及种群生态研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2008: 45-61.]
- [22] Li J H, Xie C X, Li D P, *et al.* Exo-celiac liver in *Glyptosternum maculatum* [J]. *Progress in Natural Science*, 2007(9): 1109-1113.
- [23] Ding C Z, Chen Y F, He D K, *et al.* Reproductive biology of *Glyptosternon maculatum* in Yarlung Tsangpo River in Tibet, China [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, **34**(4): 762-768. [丁城志, 陈毅峰, 何德奎, 等. 雅鲁藏布江黑斑原鲌繁殖生物学研究 [J]. 水生生物学报, 2010, **34**(4): 762-768.]
- [24] Xue Q. Genetic diversity analysis of mitochondrial DNA sequences in *Glyptosternon maculatum* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005: 10-15. [薛芹. 黑斑原鲌线粒体DNA序列的遗传多样性分析 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2005: 10-15.]
- [25] Guo B H, Xie C X, He S, *et al.* Analysis of genetic diversity in *Glyptosternum maculatum* (Sisoridae, Siluriformes) populations with AFLP markers [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2009, **85**(3): 201-206.
- [26] Guo B H, Xie C X, Li H, *et al.* Isolation via enrichment and characterization of 14 dinucleotide microsatellite loci in one catfish, *Glyptosternum maculatum* and cross-amplification in other related taxa [J]. *Conservation Genetics*, 2009, **10**(3): 547-550.
- [27] Xiong D M. The study of digestive physiology on *Glyptosternum maculatum* (Regan) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010: 20-28. [熊冬梅. 黑斑原鲌消化生理的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2010: 20-28.]
- [28] Zhang H, Xie C X, Li D, *et al.* Haematological and blood biochemical characteristics of *Glyptosternum maculatum* (Siluriformes: Sisoridae) in Xizang (Tibet) [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2010, **36**(3): 797-801.
- [29] Chen F, Chen Y F. Investigation and protection strategies of fishes of Lasa River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, **34**(2): 278-285. [陈锋, 陈毅峰. 拉萨河鱼类调查



- 及保护 [J]. 水生生物学报, 2010, **34**(2): 278-285.]
- [30] Chen M Q, Li B H, Zhou J S, *et al.* Research progress of the biology of *Glyptosternum maculatum* [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2016, **44**(3): 59-61. [陈美群, 李宝海, 周建设, 等. 黑斑原鲃的生物学研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2016, **44**(3): 59-61.]
- [31] Redlist of Chinas biodiversity-volume of vertebrate [R]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2015: 47-52. [中国生物多样性红色名录-脊椎动物卷 [R]. 北京: 中国科学院、中华人民共和国环境保护部, 2015: 47-52.]
- [32] Zhou J S, Li B H, Pan Y Z, *et al.* Studies on technique of artificial propagation for *Glyptosternum maculatum* in Tibet [J]. *China Fisheries*, 2015(10): 81-83. [周建设, 李宝海, 潘瑛子, 等. 黑斑原鲃的人工繁殖技术研究 [J]. 中国水产, 2015(10): 81-83.]
- [33] Domeier M L, Colin P L. Tropical reef fish spawning aggregations: defined and reviewed [J]. *Bulletin of Marine Science*, 1997, **60**(3): 698-726.
- [34] Grand T C, Dill L M. The effect of group size on the foraging behaviour of juvenile coho salmon: reduction of predation risk or increased competition [J]? *Animal Behaviour*, 1999, **58**(2): 443-451.
- [35] Liu Q S. Study on behavior of yellow catfish larvae, *Pelteobagrus fulvidraco* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016: 36-42. [刘全圣. 黄颡鱼仔稚鱼行为学研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2016: 36-42.]
- [36] Zhang J B, Liang Z L, Huang L Y, *et al.* Attractive effects of artificial reef models of different shapes, materials and spatial arrangements on Japanese sea-cucumber *Apostichopus japonicas* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, **18**(4): 899-907. [张俊波, 梁振林, 黄六一, 等. 不同材料、形状和空隙的人工参礁对刺参诱集效果的试验研究 [J]. 中国水产科学, 2011, **18**(4): 899-907.]
- [37] Allan G L, Maguire G B. Effect of sediment on growth and acute ammonia toxicity for the school prawn, *Metapenaeus macleayi* (Haswell) [J]. *Aquaculture*, 1995, **131**(1): 59-71.
- [38] Chen W X. The effect of different rearing strategy on growth and N budget of *Penaeus vannamei* [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2012: 7-14. [陈文霞. 不同养殖策略对凡纳滨对虾生长、摄食与氮收支的影响 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2012: 7-14.]
- [39] Hinch S. Mud: a reciproca exprim via: unionidae [J]. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 1986(43): 548-552.
- [40] Huehner M K. Field and laboratory determination of substrate preferences of unionid mussels [J]. *Ohio Journal of Science*, 1987(87): 29-32.
- [41] Ottesen O H, Strand H K. Growth, development, and skin abnormalities of halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) juveniles kept on different bottom substrates [J]. *Aquaculture*, 1996, **146**(1): 17-25.
- [42] He S P, Cao W X, Chen Y X. The uplift of the Qinghai Tibet Plateau and the isolation and differentiation of the catfish (Siluriformes: syringidae) [J]. *Science in China (Series C)*, 2001(2): 185-192. [何舜平, 曹文宣, 陈宜瑜. 青藏高原的隆升与鳅鱼类(鲇形目: 鲇科)的隔离分化 [J]. 中国科学(C辑), 2001(2): 185-192.]
- [43] Li D P, Zhuang P, Wang M X, *et al.* Preference of illumination and influence of different photoperiodson growth of juvenile amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2001, **20**(6): 564-567. [李大鹏, 庄平, 王明学, 等. 史氏鲟稚鱼的趋光性及不同光照周期对其生长的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2001, **20**(6): 564-567.]
- [44] Zhuang P, Kynard B, Zhang L, *et al.* Ontogenetic Behavior and Migration of Chinese Sturgeon, *Acipenser sinensis* [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2002, **65**(1): 83-97.
- [45] Zhuang P. Comparative ontogenetic behavior and migration of *Kaluga*, *Huso dauricus*, and *Amur sturgeon*, *Acipenser schrenckii*, from the Amur River [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2003, **66**(1): 37-48.
- [46] Zhang T, Zhang P, Zhang L Z, *et al.* Early life behavioral development of *Myxocyprinus asiaticus* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2002, **9**(3): 215-219. [张涛, 庄平, 章龙珍, 等. 胭脂鱼早期生活史行为发育 [J]. 中国水产科学, 2002, **9**(3): 215-219.]
- [47] Lu B, Shi X T, Liu D F, *et al.* White and black substrate preference and hiding behavior of *Pelteobagrus vachelli* [J]. *Journal of Hydroecology*, 2012, **33**(5): 36-40. [路波, 石小涛, 刘德富, 等. 瓦氏黄颡鱼对黑白底质颜色偏好和藏匿行为研究 [J]. 水生态学杂志, 2012, **33**(5): 36-40.]
- [48] Wang L Q, Cheng Y S. On the feeding habits and growth for larval of *Clarias lazera* under pond nursery [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1990, **14**(2): 105-113. [汪留全, 程云生. 池养条件下革胡子鲶仔幼鱼摄食习性与生长的初步研究 [J]. 水产学报, 1990, **14**(2): 105-113.]
- [49] Zhou G, Xie C X, Xiong C X. Preliminary research on day-and-night rhythm and daily feeds intake rate for snake-head fish fry [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 1996, **1**(15): 64-67. [周洁, 谢从新, 熊传喜. 乌鳢仔鱼摄食节律和日摄食率的初步研究 [J]. 华中农业大学学报, 1996, **1**(15): 64-67.]
- [50] Wang C F, Xie C X, Ma J. The feeding rhythm and the daily feeding rates of *Pelteobagrus fulvidraco* in early life history [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2001, **2**(14): 66-68. [王春芳, 谢从新, 马俊. 黄颡鱼早期发育阶段的摄食节律及日摄食量 [J]. 水产学杂志, 2001, **2**(14): 66-68.]



## STUDY ON THE HIDING BEHAVIOR OF THE *GLYPTOSTERNUM MACULATUM* LARVAE AND JUVENILES

XI Jie<sup>1,2</sup>, ZHENG Zong-Lin<sup>2</sup>, MU Zhen-Bo<sup>1</sup>, Liu Fei<sup>1</sup>, LIU Xin-Yuan<sup>3</sup>, SHEN Jian<sup>4</sup>, LIU Hai-Ping<sup>1</sup> and ZHOU Yan<sup>2</sup>

(1. Fisheries Research Institute, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850000, China; 2. College of Fisheries, Southwest University, Chongqing 402460, China; 3. Wuhan Sinoeco Ecological Science & Technology Co, Ltd, Wuhan 430062, China; 4. Huadian Tibet Energy Co., Ltd., Lhasa 850000, China)

**Abstract:** In order to optimize the breeding model and improve the breeding conditions, the early behavior characteristics of *Glyptosternum maculatum* larvae and juveniles, such as gap, bottom color and bottom species selection, were studied. The results showed that the preference of the *Glyptosternum maculatum* larvae and juveniles for gaps was significantly higher during the day (7:00—20:00) than that in night (21:00—6:00) ( $P < 0.05$ ). There were no preference for gaps ( $P > 0.05$ ) in feeding days on the 22th, 23th and 25th—30th, and no preference for gaps ( $P > 0.05$ ) at night (except feeding days on the 6th, 11th—13th). On the 12th, 13th, 15th and 24th day of feeding, the larvae and juveniles showed preference for smaller gaps (0.9 cm) ( $P < 0.05$ ); On the 2nd and 3rd days of feeding, the larvae and juveniles showed preference for bottom gaps ( $P < 0.05$ ); On the 5th, 6th, 8th, 21st and 24th days of feeding, the larvae and juveniles showed a preference for surface gaps ( $P < 0.05$ ); Under the light compensation of  $(400 \pm 50)$  lx, the preference of larvae and juveniles for the different background colors was not obvious; under the light compensation of  $(10 \pm 2)$  lx ( $P < 0.05$ ), the larvae and juveniles have a strong hiding behavior during the day to the small gap and they like black substrate under the condition of low light compensation. The hiding characteristics of juveniles and juveniles provide an important scientific basis for optimizing seedling cultivation and improving the environment of seedling cultivation.

**Key words:** *Glyptosternum maculatum*; Larvae and juveniles; Gaps; Background colors; Light compensation; Type of substrate; Hiding behavior