

斜带髯鲷和紫红笛鲷早期发育阶段的行为选择

区又君¹, 李加儿¹, 柳琪^{1,2}, 周慧^{1,2}

(1. 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300;

2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘要:采用实验生态学方法研究斜带髯鲷(*Hapalogenys nitens*)和紫红笛鲷(*Lutianus argentimaculatus*)幼鱼早期发育阶段的行为选择,旨在从行为学角度为优化种苗生产管理提供科学依据。结果显示,斜带髯鲷回避红色底质,对黑色底质的选择则是随着生长而逐渐增加,1 cm 体长组的隐匿习性最强,为 50.67%;2 cm 和 3 cm 组的隐匿率分别为 40.67% 和 35.33%;4 cm 组仅 25.00%。1 cm 组的顶流率为 3.35%,4 cm 达 71.65%。1 cm 和 2 cm 组在 1 760~2 210 lx 照度下的分布率分别为 41.67% 和 35.00%,在 39~59 lx 为 8.33% 和 16.67%,4 cm 组在 38~53 lx 的分布率达 41.67%,在 2 780~2 980 lx 仅为 8.33%。体长 1 cm 的紫红笛鲷喜栖息于白色底质,约占总群体的 61.00%,随着生长,对黑色底质的喜好明显增强;4 cm 组对白色底质无选择,而对黑色底质的选择达到 63.67%。1 cm 组的隐匿百分率为 55.67%,4 cm 组仅为 25.00%。在流速 1 cm/s 的情况下,趋流率比较低,为 50.00% 左右,1 cm 组在流速 3 cm/s 时的趋流率最高,达到 98.67%;1 cm 组的顶流率为 96.65%,3 cm 和 4 cm 组的顶流率仅为 6.65% 和 3.35%。研究表明,斜带髯鲷和紫红笛鲷行为特征随着个体的发育而变化。

关键词:斜带髯鲷;紫红笛鲷;早期发育;行为选择

中图分类号:Q111 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2017)01-0086-08

有关鱼类卵、仔鱼、稚鱼、幼鱼的生理学、生态学及生物化学等基础生物学科已有比较系统的研究(Blaxter, 1974; Braum, 1978; Boglione et al, 1999; Gisbert et al, 1999; 何永亮等, 2009; 区又君等, 1997; 2014a, b)。目前,鱼类早期发育已形成水产学科一个专门的研究领域(张仁斋等, 1985; 殷名称, 1991)。尽管国内外对鱼类行为的研究已取得了较大进展,但其主要研究结果多为渔业捕捞提供技术支持(周应祺, 2011),在水产养殖方面的应用研究还不多见。

本文对我国东南沿海 2 种重要的海水养殖品种斜带髯鲷(*Hapalogenys nitens*)和紫红笛鲷(*Lutianus argentimaculatus*)早期生长发育阶段的行为生活史进行了观察研究,旨在比较这 2 种不同繁殖生态习性的鱼类在生理学和行为学方面的差异,为养殖生产中多种混养、充分利用养殖水体以及调整养殖品种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验鱼及其驯养

本试验在中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地进行。试验用鱼分别为课题组人工繁育所得的种苗,斜带髯鲷 200 尾,紫红笛鲷 600 尾,试验设定的体长指标为 1.00、2.00、3.00、4.00 cm;斜带髯鲷各发育阶段大致为孵化后 25~30 d、50~60 d、75~90 d、100~120 d,紫红笛鲷大致为孵化后 11~12 d、17~18 d、30~35 d 和 45~50 d。文中为了方便表示,将鱼体(平均体长±标准误)以整数形式 1、2、3、4 cm 表示。试验前选取规格相近、健康无病的个体进行暂养,为期 3 d。暂养容器为长方形塑料水族箱,试验用海水抽取自海区并经过沉淀和砂滤,充气。每日换水 1 次,换水量为水体体积的 2/3。

试验期间水箱内各项水质主要理化指标如下:水温为 26~29℃,盐度为 28~30, pH 值为 8.0~8.2,溶解氧为 4.5 mg/L 以上, NH_4^+-N 为 0.03 mg/L 以下, NO_2^--N 为 0.03 mg/L 以下。驯养期间投喂卤虫无节幼体,每天 2 次,每次投喂至鱼群无明显摄食行为为止。

收稿日期:2015-05-14 修回日期:2016-11-28

基金项目:广东省省级科技计划项目(2016A020206002);广东省海洋渔业科技推广专项项目(A200901D01; A201200E02)。

作者简介:区又君,1964年生,女,研究员,研究方向为鱼类生物学、发育生物学与海洋渔业增殖技术。E-mail: ouyoujun@126.com

1.2 形态指标的测量

随机捞取试验鱼,麻醉后用干毛巾吸去鱼体表面积水分,用尺测量鱼的全长、体长、体高和体宽,长度值精确到 0.01 cm;用电子天平称重,精确到 0.001 g。

1.3 底质选择试验

试验装置为长方形白色水箱(50 cm × 38 cm × 30 cm)。箱底沿长边划分为面积相等的 4 个平行区域,使其分别呈黑、白、红、蓝 4 种底色。试验鱼以 20 尾为 1 组,从 4 种颜色的底质分界处放入试验箱。试验鱼放入后,先让其适应 2 min 再开始观察,连续观察 5 min,记录各颜色区间鱼的分布率。设置 3 个重复组,试验结果为方差分析后的均值。

1.4 隐匿试验

试验装置同上,水箱箱体四周不透光,在其底部用直径为 5 ~ 8 cm 的卵石堆积成若干个棋盘状排列的洞穴状卵石堆,没有堆卵石的区域则形成开阔的栖息地,隐匿场所与开阔地的面积大致相等。试验鱼以 20 尾为 1 组,从水箱的中部表层放入。试验鱼放入后,先让其适应 2 min 再开始观察,连续观察 5 min 后,记录各个区间鱼的分布率。设置 3 个重复组,试验结果为方差分析后的均值。

1.5 趋流试验

1.5.1 趋流性分析 试验水槽为长 60 cm、宽 10 cm、高 8 cm 的循环水槽。用于试验观测的部分长 40 cm、宽 8 cm、高 8 cm。参考官之梅等(1981)所用的公式计算流速:

$$V = Q/S$$

式中: V 为水槽的平均流速; Q 为流量; S 为水槽过水断面的面积。

试验前 1 d 将鱼放入水槽中循环进行适应驯化,每次随机采用 5 尾鱼进行试验,先让其适应 2 min,然后开始调节水流速度,流速为 1 ~ 15 cm/s,共设置 1、3、6、9、12 cm/s 共计 5 个流速梯度;每个梯度的试验时间控制在 10 min 之内。鱼的头部方向逆向水流方向百分比(趋流率)计算参考梨木胜昭(1983)和徐刚等(1988)所用公式:

$$F = \sum n_i / N_j$$

式中: F 为趋流率(%); n_i 指第 i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) 尾鱼的头部方向在试验期间逆向水流方向的次数(每 10 s 观察记录 1 次); N_j 指试验组($j = A, B, C, D$) 在试验过程中的观察次数。

1.5.2 顶流行为 试验装置为长方形白色水箱(40 cm × 30 cm × 20 cm),在短面靠近箱底处相对两面沿中线开设 2 个孔,一个为入水孔,另一个为出水

孔,出水孔的孔径大于入水孔,且距水族箱底部较低。根据水箱内不同部位的水流速度,将水箱划分为顶流区和静止区。试验鱼于水箱中部表层放入,每 20 尾为 1 组,先让鱼在较小的流量下适应 2 ~ 5 min,待其行为恢复正常后,调节马达,设置固定流量值,观测试验鱼在顶流区和静止区的分布尾数、顶水持续时间以及离水源中心的距离。试验设置 3 个重复组,试验结果为方差分析后的均值。

1.5.3 趋光性试验 试验装置为长方形玻璃水箱(120 cm × 38 cm × 40 cm)。先将水箱分区标号为 1、2、3、4 共 4 个面积相等的区段,每个区段宽 30 cm。在箱的顶部设置 3 盏 60 W 的日光灯作为光源,并用 1 块黑色的塑料板遮盖箱口上部的 1/2,使水体分成面积相等的亮区、暗区和过渡区。通过变压器调节日光灯的亮度,用照度计测定光度值,使亮区的照度为 2 800 ~ 3 100 lx,暗区为 30 ~ 70 lx,过渡区为 860 ~ 2 200 lx。试验鱼每 20 尾为 1 组,从试验箱的过渡区表层放入。试验鱼放入后,先让其适应 2 min 再开始观察,连续观察 5 min,记录各个区间的分布率。

1.5.4 检验方法 试验数据通过 SPSS 进行处理,利用方差分析(ANOVA)来检验不同因子试验组间的差异,显著性差异设定为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 不同底质中的分布率

斜带髯鲷和紫红笛鲷在不同底质中的分布率如表 1 所示。从表 1 可见斜带髯鲷有回避红色底质的习性,对黑色底质的选择则是随着生长而逐渐增加,且要高于对其它 3 种颜色的选择。体长 1 cm 的紫红笛鲷对白色底质的选择要明显高于其它 3 种颜色,且存在显著性差异;而随着鱼的生长,体长 2 cm 和 3 cm 组紫红笛鲷对白色底质的选择明显降低,对红色底质的选择则变化不明显;体长 4 cm 的紫红笛鲷对白色底质无选择,而对黑色底质的选择达到 63.67%。

2.2 早期生长阶段的隐匿习性

观察表明,斜带髯鲷和紫红笛鲷的隐匿习性相近。斜带髯鲷早期生长阶段的隐匿习性随生长而变化(图 1)。从图 1 可以看出,体长 1 cm 的斜带髯鲷隐匿习性最强,为 50.67%;2 cm 和 3 cm 组斜带髯鲷的隐匿百分率分别为 40.67% 和 35.33%;4 cm 组仅 25.00% 选择隐匿场所。尽管斜带髯鲷仔鱼有选择隐匿场所的趋向,但从统计分析,还达不到显

著性喜好水平($P > 0.05$)。

体长 1 cm 组的紫红笛鲷隐匿习性最强,达 55.67%。随着其生长,选择隐匿场所的比例逐渐下降。体长 2 cm 和 3 cm 组紫红笛鲷的隐匿百分率分

别为 50.33% 和 35.67%;体长 4 cm 组的紫红笛鲷仅 25.00% 选择隐匿场所。尽管紫红笛鲷有选择隐匿场所的趋向,但也达不到显著性喜好的水平($P > 0.05$)。

表 1 斜带髯鲷和紫红笛鲷在不同底质中的分布率

Tab. 1 Distribution of *Hapaologenus nitens* and *Lutianus argentimaculatus* on different substrates

鱼类	体长/ cm	不同底质中的分布率/%			
		黑	白	红	蓝
斜带髯鲷	1.00	52.00 ± 4.54	29.67 ± 3.31	0 ^a	19.00 ± 2.67
	2.00	63.33 ± 2.50	16.67 ± 1.98	0 ^a	21.33 ± 1.75
	3.00	73.67 ± 5.62 ^a	8.00 ± 1.45 ^a	0 ^a	19.67 ± 2.28
	4.00	76.33 ± 4.56 ^a	0 ^a	0 ^a	24.33 ± 3.37
紫红笛鲷	1.00	25.33 ± 2.53	61.00 ± 1.54 ^a	5.25 ± 0.44 ^a	9.24 ± 2.01
	2.00	35.68 ± 3.45	45.47 ± 3.51	8.15 ± 0.93 ^a	12.33 ± 1.89 ^a
	3.00	45.00 ± 1.67	11.00 ± 1.88 ^a	9.08 ± 0.33 ^a	25.18 ± 0.96
	4.00	63.67 ± 1.33 ^a	0 ^a	5.21 ± 1.38 ^a	32.65 ± 2.51

注:同列中数据上方字母 a 代表有显著性差异($P < 0.05$);无字母则无显著性差异。

Notes: Values with the superscript letter in the same column indicate significant different ($P < 0.05$).

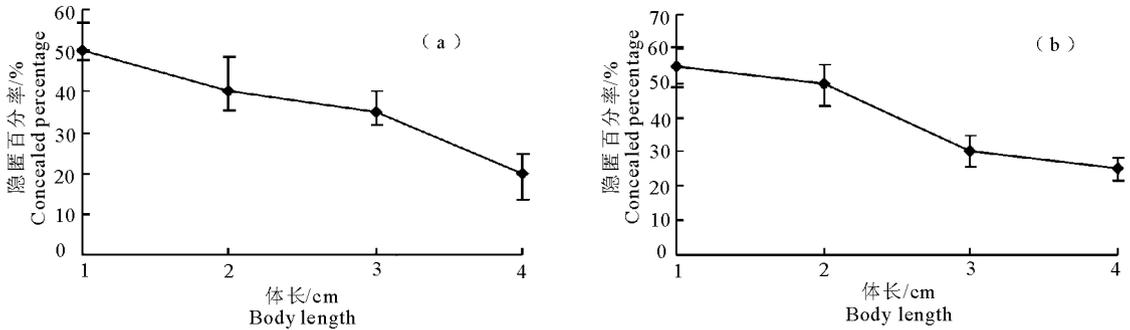


图 1 不同体长斜带髯鲷(a)和紫红笛鲷(b)的隐匿习性

Fig. 1 Percentage of *H. nitens* (a) and *L. argentimaculatus* (b) that prefer cave habitat by body length

2.3 不同状态下的趋流性

2.3.1 流速变化 斜带髯鲷在不同流速下趋流变化如图 2-a 所示。可见 4 个体长组试验鱼在 1 cm/s 的情况下,趋流率均比较低,为 50.33% 左右,而且各组的趋流率变化不大。1 cm 和 2 cm 组斜带髯鲷在 6 cm/s 和 9 cm/s 流速时,趋流率分别为 96.34% 和 98.33%,且随着流速的增加,趋流率明显下降;3 cm 组的斜带髯鲷在 9 cm/s 流速下的趋流率为 97.67%;4 cm 组的斜带髯鲷则在 12 cm/s 流速下的趋流率最高,为 98.48%。

紫红笛鲷在不同流速下趋流变化如图 2-b 所示。可见 4 个体长组试验鱼在 1 cm/s 的情况下,趋流率均比较低,为 50.00% 左右,而且各组的趋流率差异不大。1 cm 组的紫红笛鲷在流速 3 cm/s 时,趋流率最高,达到 98.67%,且随着流速的增大,趋流率明显下降;2 cm 和 3 cm 组的紫红笛鲷在 9 cm/s 流速下的趋流率最高,分别为 97.24% 和 97.56%;

4 cm 组的紫红笛鲷则在 12 cm/s 的流速下达最高趋流率,为 99.33%。

2.3.2 顶流行为 斜带髯鲷早期生长阶段的顶流行为随鱼体的增长而增强(表 2)。

试验测得 2 cm、3 cm 和 4 cm 斜带髯鲷具有顶流行为。4 cm 组斜带髯鲷的顶流达 71.65%,顶流持续时间最长;在同样的试验条件下,2 cm 和 3 cm 组斜带髯鲷的顶流率则不如 4 cm 组显著,分别为 31.65% 和 40.00%;1 cm 组的斜带髯鲷仅极少数参与顶流,顶流率仅 3.35%。

体长 1 cm 组紫红笛鲷的顶流率达 96.65%;2 cm 组个体的顶流行为不如 3 cm 组个体显著,顶流率为 28.35%,顶流持续时间也相对有所下降。在相同的试验条件下,3 cm 和 4 cm 组的紫红笛鲷仅极少数参与顶流,大多停留在静止区,顶流率仅为 6.65% 和 3.35%。

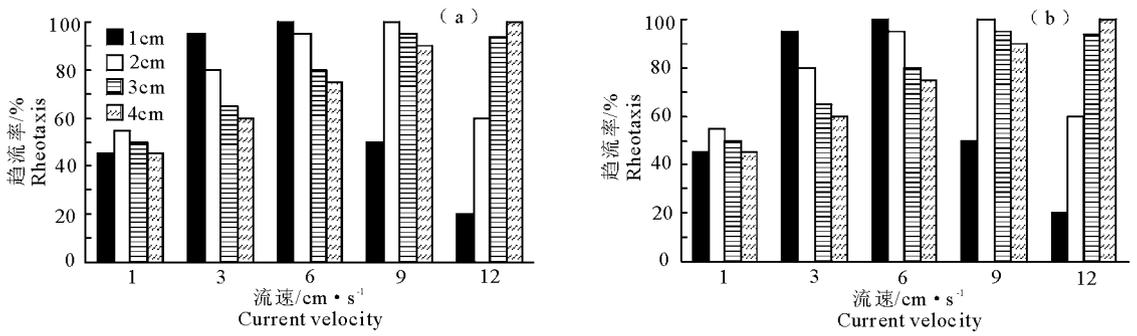


图 2 不同流速下斜带髯鲷(a)紫红笛鲷(b)的趋流性

Fig.2 Rheotaxis of *H. nitens* (a) and *L. argentimaculatus* (b) by body length at different current velocities

表 2 斜带髯鲷和紫红笛鲷顶流行为测定结果

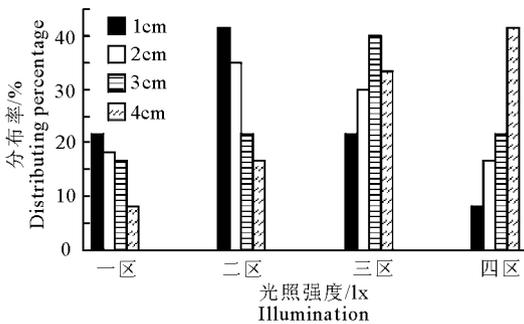
Tab.2 Adverse current behavior of *H. nitens* and *L. argentimaculatus* by body length

鱼名	体长/ cm	静止区/ 尾	顶流区/ 尾	参 数		
				时间/min	距离/cm	顶流率/%
斜带髯鲷	1.00	19.33 ± 0.14	0.67 ± 0.11	2.15 ± 0.57	26.68 ± 4.76	3.35 ± 0.76
	2.00	14.67 ± 1.50	6.33 ± 1.45	3.55 ± 0.57	14.50 ± 2.15	31.65 ± 3.42
	3.00	12.00 ± 1.29	8.00 ± 1.12	7.50 ± 0.82	7.45 ± 3.45	40.00 ± 2.73
	4.00	6.67 ± 0.73	14.33 ± 2.05	10.08 ± 1.34	6.32 ± 2.56	71.65 ± 2.19
紫红笛鲷	1.00	1.67 ± 0.43	19.33 ± 1.56	7.55 ± 1.53	45.52 ± 5.72	96.65 ± 1.79
	2.00	15.33 ± 1.50	5.67 ± 1.05	1.53 ± 0.21	35.08 ± 9.25	28.35 ± 1.28
	3.00	18.67 ± 1.50	1.33 ± 0.16	2.67 ± 1.53	11.47 ± 2.28	6.65 ± 0.48
	4.00	19.33 ± 1.00	0.67 ± 0.13	1.23 ± 1.53	7.65 ± 1.13	3.35 ± 0.23

2.4 斜带髯鲷和紫红笛鲷的趋光性

斜带髯鲷早期生长阶段的趋光性随生长而降低(图3)。体长1 cm和2 cm组鱼在1 760~2 210 lx照度下的分布率最高,分别为41.67%和35.00%,在39~59 lx照度下的分布率最低,为8.33%和16.67%;3 cm组在689~752 lx照度下的分布率最高,达40.00%,而在2 970~3 214 lx的分布率仅为16.67%;4 cm组在38~53 lx的光照强度下的分布率最高,达41.67%,而在2 780~2 980 lx下的分布率较低,仅为8.33%。

紫红笛鲷的趋光性如图4所示。体长1 cm组在1 926~2 210 lx照度下的分布率最高,为43.33%,在30~80 lx照度下的分布率为3.33%,差异显著($P < 0.05$);2 cm组最高分布率在660~900 lx的照度下,为46.67%,在30~90 lx的分布率为3.33%,差异显著($P < 0.05$);3 cm组在40~800 lx的分布率最高,为33.33%,而在2 845~3 610 lx的分布率仅为3.33%;4 cm组在35~45 lx的分布率最高,为45.00%,在3 065~3 114 lx的分布率较低,仅8.33%。

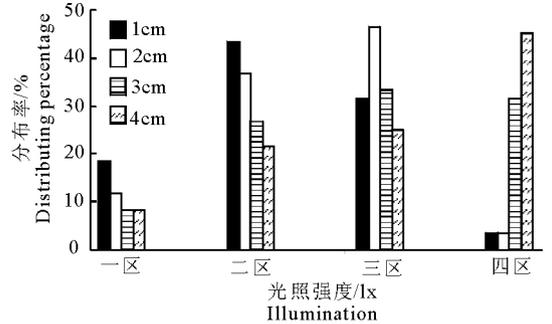


一区:2 890~3 165 lx;二区:1 760~2 100 lx;
三区:655~852 lx;四区:39~44 lx

图 3 不同光照强度下斜带髯鲷的分布率

District 1: 2 890-3 165 lx; District 2: 1 760-2 100 lx;
District 3: 655-852 lx; District 4: 39-44 lx

Fig.3 Distribution of *H. nitens* under different illumination intensities by body length



一区:2 856~3 165 lx;二区:1 926~2 210 lx;
三区:750~860 lx;四区:30~80 lx

图 4 不同光照强度下紫红笛鲷的分布率

District 1: 2 856-3 165 lx; District 2: 1 926-2 210 lx;
District 3: 750-860 lx; District 4: 30-80 lx

Fig.4 Distribution of *L. argentimaculatus* under different illumination intensities by body length

3 讨论

3.1 鱼类对底质属性的适应与选择

根据文献资料,海洋鱼类对底质的适应一般有几种类型:(1)经常潜伏或埋藏在海底,这些鱼类的行动比较迟缓,为猎取食物或躲避敌害而经常栖息在海底;(2)为摄取食物而在某些时期潜伏于水底,这些鱼类的种类很多,行动敏捷,其捕食的饵料生物多为底栖生物,对底质的选择适应性与栖息地饵料生物的分布密度有密切联系;(3)为种群繁殖需要而到达具有一定底质的水域,这些鱼类对底质的适应与其自身的洄游习性和生殖特征有关(何大仁等,1998)。

斜带髯鲷和紫红笛鲷均为近海中、下层鱼类,生态习性决定了这2种鱼类为了摄取食物或者栖息,在某些时期潜伏于水底,对底质有很大的依赖性。斜带髯鲷对黑色栖息地底质的选择明显高于对其它颜色栖息地的选择。随着生长进程,对白色栖息地底质的选择明显下降。本试验测得4种不同体长的斜带髯鲷对不同颜色栖息地底质的选择较为稳定,对黑色和蓝色底质的选择性要明显高于白色和红色;紫红笛鲷对白色栖息地底质的选择要明显高于其它3种颜色,随着生长,试验鱼对白色栖息地底质的选择明显下降。张涛等(2002)对胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)早期发育阶段对栖息地底质色泽选择的趋向进行了研究,所得结果与本试验所测的紫红笛鲷有较大的差异,胭脂鱼早期生活阶段对白色栖息地底质没有选择,而紫红笛鲷对白色栖息地底质的选择率为60%,与其它3种试验底质颜色相比较,具有显著的差异。紫红笛鲷这种对白色栖息地底质的选择是对早期生长发育阶段生存的适应,推测是为了增加细小饵料生物和水环境之间的反差,更便于发现和捕获饵料生物。依据这种习性,在紫红笛鲷种苗生产的早期阶段,所采用的培育容器底色不宜过深。

3.2 鱼类早期生长阶段隐匿习性的变化

隐匿行为是鱼类赖以生存的基本行为。从食物链的角度来划分,隐匿行为可以分为2种类型:一种是捕食生物为猎取食物而采取的隐蔽行为;另一种是被捕食生物为逃避敌害而采取的防御行为。

本次试验结果表明,处于早期生长阶段的斜带髯鲷和紫红笛鲷均有寻找隐匿场所的习性,但达不到显著性水平。随着生长和发育,这2种鱼的隐匿习性逐渐减弱。张涛等(2002)研究了胭脂鱼早期

发育阶段隐匿习性,发现胭脂鱼在11日龄以前有选择隐匿场所的趋向,但到13日龄后几乎不再选择隐匿场所。斜带髯鲷和紫红笛鲷早期生长阶段隐匿习性的变化与胭脂鱼早期生活史隐匿习性的变化具有一定的相似性。推测这种隐匿行为主要是由这2种鱼类早期发育不完善、游泳和逃避敌害能力较弱所决定的。在生产上,特别是在室外土池培育条件下,在池中预设或适时布放隐匿物,有利于幼苗生长发育,提高单位水体出苗率。

3.3 鱼类早期生长的趋流性与变态发育的适应性

逆流而游是鱼类的一种天性,而顶流能力是用于考查和评价鱼类趋流性强弱的重要指标之一(张硕等,2005)。鱼类的趋流性主要是由视觉、触觉以及水流感觉等各种器官的协同作用所决定的。一般认为,栖息在江河中或潮汐海域的海水鱼类依靠水流方向来确定游泳方向,所以侧线被认为是鱼类控制趋流性的感觉器官(王义强等,1990)。有学者认为鱼类的趋流性也是由其保目标性所决定的,在水流中的鱼类,为了使周围的水环境中某一个目标的图像一直保留在其视网膜的特定部位,因而出现了趋流性(何大仁等,1998)。

鱼类早期生长阶段的趋流行为一般伴随着变态发育。区又君等(1998)研究了鲮(*Mugil cephalus*)早期发育的生理生态特性,发现其仔鱼即将进入稚鱼期时,喜聚集于充气处四周,并试图逆水冲过水流,一旦成功顶流冲过水流,即变态为稚鱼,这种顶流功能是与仔鱼形态和生理发育到突进程度相互适应的。依据鱼类的趋流行为,在生产实践中,饲养水一开始是用静水,随着苗种的生长发育而改用流水,在高密度饲养条件下,建议提早使用流水,即使是静水饲养,也应根据水质状况适量换水,流水饲养期及水交换率应当根据仔鱼的游泳能力、饵料生物流失、水温以及水质状况等因素定夺。

本试验测得斜带髯鲷和紫红笛鲷不同大小个体的趋流性具着较大差异。大鱼的趋流性一般比较强,能够主动顶流游泳,其游向随着水流向的变化而改变;而小鱼的趋流性则往往很弱,一般总是顺水漂流。对同种鱼而言,体长决定了鱼类能够克服的流速值;除了物种和体长等生物学因素外,鱼类的趋流性还受到水温和透明度等非生物学因子的影响。有学者指出,香鱼(*Plecoglossus altivelis*)回避混浊度15以上的混浊水,自然界香鱼在上溯期间,碰到清水支流和混浊度在15以上的支流相汇合处,几乎全部的香鱼均上溯至清水支流(何大仁等,1998)。

3.4 鱼类早期生长阶段趋光性与生长发育的变化

鱼类的趋光性是其寻求适宜照度的结果,每一种鱼都有其喜欢的照度范围,并经常在该照度范围的水层内集结成群。何大仁等(1979;1980;1981)用梯度光照法研究了鲈(*Pneumatophorus japonicus*)、孔沙丁鱼(*Sardinella perforata*)、鳗鲡(*Anguilla japonica*)幼鱼的趋光行为,结果表明鲈的适宜照度为 0.01 ~ 14 lx,孔沙丁鱼对 0.1 ~ 1.0 lx 的白光趋光反应最强,而鳗鲡幼鱼适宜照度区随着生长发育进程从 10 ~ 100 lx 逐渐转移至 0.01 ~ 10 lx。鱼类的趋光性还可以看作是其对光的食物条件反射和对食物的非条件反射,且趋光和集群、防御及索饵等有密切关系;何大仁(1983)研究了不同照度下鲷幼鱼的摄食强度,结果显示鲷幼鱼对蚤的摄食强度受光照强度影响较大,且在 100 lx 时最高。

一般认为,生物行为是其长期进化的结果,鱼类所选择的生活条件及行为也是其长期进化的结果(Cl Clarke et al,1981)。趋光性试验结果表明,斜带髯鲷和紫红笛鲷早期生长阶段在不同光照强度条件下所表现出的趋向性是不同的,其趋光率都随着生长而降低。庄平(1999)研究认为在 250 ~ 1 500 lx 光照强度下,史氏鲟(*Acipenser schrencki*)在 60 日龄以前的趋光性不断变化,在 60 ~ 120 日龄间都避光,负趋光行为维持稳定,其趋光行为是先趋光、后避光;本研究所测斜带髯鲷和紫红笛鲷的趋光行为与史氏鲟相类似。李大鹏(2004)和水柏年(2004)分别研究了史氏鲟和大黄鱼(*Pseudosciaens croases*)稚、幼鱼的趋光性,测得的趋光性试验结果也是随着试验鱼的生长发育而变化。

在种苗生产中,由于仔鱼具有较强的趋光性,常密集群聚在光线较强的水域,若时间过长会造成养殖水体局部水域缺氧和缺饵而导致其死亡。可根据不同鱼类对光照度的不同要求以及各发育阶段的趋光习性,适时拉伸设置在培育池上方的活动式遮光幕以达到有效控光的目的;另一方面,也可在夜间采用人工光源照射,促使仔鱼增加摄食量和运动量,以免仔鱼因停止运动而被冲走(雷霖霖,2005;麦贤杰等,2005)。

3.5 环境因子对鱼类行为的耦合影响

鱼类行为除了与自身生理状态及生活习性有关之外,也受各种外界环境因子(潮汐、盐度、温度、饵料等)的影响,鱼类的行为往往受到多种因子的耦合影响。由于试验条件所限,本文仅对各单一环境因子对鱼类行为的影响开展试验。下一步应开展各

种主要生态因子对行为影响的交互实验,定量和实证性探讨相关种类的生物学和生态学资料,为优化其种苗生产工艺提供科学依据。

参考文献

- 官之梅,刘文郁,陈佩薰,1981. 几种淡水经济鱼类游泳能力的研究[A]. 鱼类学论文集(第1辑)[C]. 北京:科学出版社:133-139.
- 何大仁,1983. 不同照度下鲷鱼幼鱼摄食强度及其动力学鱼类学论文集(第3辑)[C]. 北京:科学出版社:21-27.
- 何大仁,1988. 鱼类及海洋动物趋光生理研究论文选集[C]. 厦门:厦门大学出版社.
- 何大仁,1996. 俄国鱼类行为与感觉器官研究(1)[J]. 台湾海峡,15(2):191-199.
- 何大仁,蔡厚才,1998. 鱼类行为学[M]. 厦门:厦门大学出版社:9-11.
- 何永亮,区又君,李加儿,2009. 卵形鲳鲹早期发育的研究[J]. 上海海洋大学学报,18(4):428-434.
- 雷霖霖,2005. 海水鱼类养殖理论与技术[M]. 北京:中国农业出版社:447-481.
- 梨木胜昭,1983. 鱼の游泳速度と尾部の振動数[J]. 海洋科学,15(4):184-188.
- 李大鹏,庄平,严安生,等,2004. 光照、水流和养殖密度对史氏鲟稚鱼摄食、行为和生长的影响[J]. 水产学报,28(1):54-61.
- 麦贤杰,黄伟健,叶富良,等,2005. 海水鱼类繁殖生物学和人工繁育[M]. 北京:海洋出版社.
- 区又君,李加儿,1997. 鲷鱼胚胎和卵黄囊期仔鱼的发育与营养研究[J]. 海洋学报,19(3):102-110.
- 区又君,李加儿,1998. 人工培育条件下鲷鱼早期发育的生理生态研究[J]. 热带海洋,17(4):29-39.
- 区又君,李加儿,谢菁,等,2014a. 鲷早期发育阶段鳃的超微结构及其呼吸面积的研究[J]. 南方水产科学,10(4):52-57.
- 区又君,李加儿,艾丽,等,2014b. 广东池塘培育条石鲷仔、稚、幼鱼的早期发育和生长[J]. 南方水产科学,10(6):66-71.
- 水柏年,2004. 大黄鱼幼鱼对若干环境因子的适应性试验[J]. 水产科技情报,31(3):102-107.
- 王义强,黄世蕉,赵维信,等,1990. 鱼类生理学[M]. 上海:上海科学技术出版社.
- 徐刚,有元贵文,井上富,1988. マヌヅ *Trachurus japonicus* の游泳速度の測定[J]. 日本水産學會誌,54(9):1493-1497.
- 殷名称,1991. 鱼类早期生活史研究与其进展[J]. 水产学报,15(4):348-358.
- 张仁斋,赵传茵,陆穗芬,1985. 中国近海鱼卵与仔鱼[M]. 北京:科学出版社.

- 张硕,陈勇,2005. 黑鲟幼鱼趋流性的研究[J]. 上海水产大学学报,14(3):282-287.
- 张涛,庄平,章龙珍,等. 2002. 胭脂鱼早期生活史行为发育[J]. 中国水产科学,9(3):215-219.
- 周应祺,2011. 应用鱼类行为学[M]. 北京:科学出版社.
- 庄平,1999. 鲟科鱼类个体发育行为生态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.
- Blaxter J H S, 1974. The early life of fish[M]. Springer-Verlag, Berlin New York: 765.
- Boglione C, Bronzi P, Cataldi E, et al, 1999. Aspects of early development in the Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii*[J]. Appl Ichthyol,15(4/5):207-213.
- Braum E, 1978. Ecological aspects of survival of fish eggs, embryos and larval[A]. In: Ecology of freshwater fish production, ed [C]. Gerking S D, Blackwell Sci Publ:102-131.
- Clarke W C, Shelhourn T E, Brett T R, 1981. Effect of artificial photoperiod cycles, temperature and salinity on growth and smolting in underyearling coho (*O. kisutch*), chinook (*O. tshawytscha*) and sockeye (*O. nerka*) salmon[J]. Aquaculture, 22(4): 105-116.
- Gisbert E, Williot P, Castello-Orvay F, 1999. Behavioral modification in the early life stages of Siberian sturgeon(*Acipenser baerii* Brandt) [J]. Appl Ichthyol, 15(4/5):237-242.

(责任编辑 万月华)

Early Stage Behavior of *Hapaologenyx nitens* and *Lutianus argentimaculatus*

OU You-jun¹, LI Jia-er¹, LIU Qi^{1,2}, ZHOU Hui^{1,2}

(1. Key Laboratory for Exploitation & Utilization of Marine Fisheries Resource in South China Sea, Ministry of Agriculture; South China Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, P. R. China;

2. College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, P. R. China)

Abstract: A comparative study of the behavior and physiology of fish species in different ecological habitats provides scientific information useful for polyculture in aqua-farming, a method that fully utilizes the water and adjusts the species cultured according to market demand. In this paper, the behavior of cultured *Hapaologenyx nitens* and *Lutianus argentimaculatus* during early life stage was investigated, aiming to enhance seedling production of these species from the perspective of behavioral science. Experiments were carried out at Shenzhen Experiment Base of the South China Sea Fisheries Research Institute. *H. nitens* and *L. argentimaculatus* seedlings for the test were produced by artificial propagation and assigned to four groups by body length (1, 2, 3, 4 cm) with each group tested in triplicate. The seedlings for each group were acclimated in rectangular plastic aquaria for three days before testing and fed brine shrimp. The experiments on behavior included substrate selection, hiding, rheotaxis, adverse current and phototaxis. Experimentation was carried out under the following conditions: T, 26–29°C; salinity, 28–30 g/kg; pH, 8.0–8.2; DO, >4.5 mg/L; NH₄⁺-N and NO₂-N, <0.03 mg/L. *H. nitens* avoided red substrate and preference for black substrate increased with size. The smallest (1 cm) *H. nitens* displayed the strongest tendency to hide (50.67%) and the tendency decreased with size: 40.67% for the 2 cm group, 35.33% for the 3 cm group and 25% for the 4 cm group. The rheotaxis rate of *H. nitens* increased with size, from 3.35% at 1 cm to 71.65% at 4 cm. The distribution rates of 1 cm and 2 cm *H. nitens* groups were 41.67% and 35% under high light intensity (1 760–2 210 lx), decreasing to 8.33% and 16.67% under low light intensity (39–59 lx). For the 4 cm *H. nitens*, 41.67% were distributed under the lower light intensity (38–53 lx) and 8.33% under the higher light intensity (2 780–2 980 lx). *L. argentimaculatus* of 1 cm body length showed significant preference for white substrate with (61%) and tended more toward black substrate as they grew. No *L. argentimaculatus* of 4 cm body length group chose white bottom, but showed strong preference to black substrate (63.67%). The percentage of 1 cm *L. argentimaculatus* hiding was 55.67%, but only 25% for the 4 cm group. At a current velocity of 1 cm/s, the rheotaxis rate was relatively low, averaging 50% across groups with no significant difference observed between groups. The maximum rheotaxis rate occurred at a current velocity of 3 cm/s for 1 cm *L. argentimaculatus* (98.67%), at 9 cm/s for the 2 cm and 3 cm group (97.24% and 97.56%) and at 12 cm/s for the 4 cm group (99.33%). Under the same condition, the adverse current rate of *L. argentimaculatus* was 96.65% for 1 cm body length, but only 6.65% and 3.35% for the 3 cm and 4 cm groups. In conclusion, the selectivity observed in both species during early life stages is associated with, and changes during, development.

Key words: *Hapaologenyx nitens*; *Lutianus argentimaculatus*; early development; behavior selectivity