

# 不同光照条件对幼鲮趋光行为影响的初步研究

王以尧<sup>1,2</sup>, 冯波<sup>1</sup>, 卢伙胜<sup>1</sup>

(1. 广东海洋大学 水产学院, 广东 湛江 524025; 2. 海南省水产研究所, 海南 海口 570206)

**摘要:** 在 300 cm × 100 cm × 75 cm 的循环水槽内, 对体长 40 ~ 60 mm 的幼鲮(*Mugil cephalus*) 在 6 个不同光照强度、20 min 光照时间内、2 个光照区域和 2 种光照模式下的趋光行为进行了统计分析。结果表明, 6 个光照强度对幼鲮的光反应没有显著的影响( $P > 0.05$ ); 20 min 内光照时间对幼鲮的光反应没有显著的影响( $P > 0.05$ ); 幼鲮对光呈均等反应, 但对光较暗区的趋性更强一些( $P < 0.05$ ); 幼鲮在 2 种光照模式下的光反应总体趋势一致, 但其光反应程度存在显著性差异( $P < 0.05$ )。结果表明幼鲮对光呈均等反应, 但更趋暗光。

**关键词:** 光照条件; 幼鲮(*Mugil cephalus*); 趋光行为

中图分类号: S973.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2010)02-0049-05

在水生动物的生存环境中, 光是一个重要的生态因子, 不仅能影响动物的摄食、生长、繁殖及存活, 还能影响着水生动物的趋光、集群和昼夜活动节律<sup>[1,2]</sup>。国内外关于海洋鱼类、虾类和淡水鱼类在光场中的反应已有较多的研究<sup>[3~11]</sup>, 鲮鱼的趋光特性也有一些报道, 主要是关于成体棱鲮(*Liza carinatus*)<sup>[12]</sup>和普通鲮<sup>[13]</sup>, 而对幼鲮鱼的趋光行为特性的研究还未见报道。

鲮鱼(*Mugil cephalus*), 英文名 Black mullet, 隶属于鲮形目(Mugiliformes)、鲮亚目(Mugiloidei)、鲮科(Mugilidae)、鲮属(*Mugil* Linnaeus)。鲮鱼为温带、热带浅海上中层鱼类。喜栖息于沿海近岸、浅海湾和江河入口咸淡水地区摄食育肥。鲮鱼在中国沿海均有分布, 尤以内陆河口低盐度水域数量较多<sup>[14]</sup>。本研究采取行为学方法, 统计和分析幼鲮在不同光照强度、光照时间、光照区域和光照模式下的光反应, 较深入地探讨幼鲮的趋光特性, 以期明晰幼鲮的趋光特性, 为光诱渔业的灯光配置和光照方式提供改进建议。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 幼鲮的采集和暂养

实验幼鲮 200 尾采自广东省湛江市东海岛海域, 体长范围 40 ~ 60 mm。捕回后养殖于室内塑料桶(容积约 200 L)中, 每桶装 150 L 左右的海水, 放置幼鲮

50 条。在暂养期间, 保持海水盐度 20, 水温(22±1), 全天充氧以使水体保持高溶氧量。确保水质良好, 每天换水 1/5, 并于早上和下午清除残饵和不健康的鱼。每日投喂两次粉料(10: 00 和 16: 00), 保持昼夜循环光照环境[8: 00 ~ 20: 00 保持自然光照(200 ~ 3000 lx), 20: 00 ~ 次日 8: 00 光照控制为 0 lx]。采集的野生幼鲮在养殖室内暂养 7 d 以适应室内的养殖环境, 并由此选择出符合标准的实验鱼。

#### 1.1.2 水族箱装置

玻璃水族箱规格为 300 cm × 75 cm × 100 cm, 水族箱的底部为灰色的塑料板, 除光源端侧壁外, 其余玻璃壁内壁贴黑色筛绢布, 防止光线在箱内反射。水族箱底部用条带作标记, 沿长度方向将箱体等分为 4 个区域, 从距离光源最近端到距离光源最远端分为 A, B, C, D 区(图 1)。水族箱内的水位维持在 75 cm 高, 海水盐度 20(等同于幼鲮采样海区的盐度), 水温 22 ± 1。

#### 1.1.3 光照设施

距离水族箱光源端侧面外端 1.5 m 处放置光源, 为确保灯源光线能均匀地分布在水族箱水体, 灯源

收稿日期: 2008-06-25; 修回日期: 2008-09-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30771653); 农业部渔业资源调查项目(0509109)

作者简介: 王以尧(1981-), 男, 四川巴中人, 硕士研究生, 主要从事海洋渔业资源保护和鱼类行为学研究, E-mail: wyy1042@yahoo.com.cn; 卢伙胜, 通信作者, 电话: 13318013463, E-mail: Luhs@gdou.edu.cn

位置设置在水族箱侧面正对的中间部位,且水族箱光源端侧面为毛玻璃面。在光源与水族箱之间的区域用挡板遮盖,以确保光源所发出的光全部从水族箱的光源端侧面射入,水族箱周围无光线干扰。

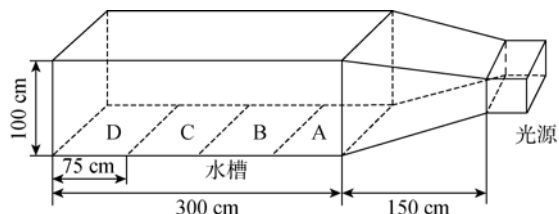


图 1 趋光行为实验水槽

Fig. 1 The test tank of phototactic behavior

### 1.1.4 实验仪器

主要实验仪器: 1kW 的卤素灯及附属灯罩(飞利浦), 电压调节器(中国正泰集团公司, TDGC2-2), 照度计(上海嘉定学联仪表厂制造的水下照度计, 型号为 ZDS-10W), 盐度计(MC-89264), 温度计, 红外线照相机(SONY-H9)。

## 1.2 方法

### 1.2.1 幼鲮对趋光水族箱环境的适应

从野外采集回的幼鲮暂养 7 d, 从中选取 15 条健康幼鲮放入水族箱中适应 3 d, 水族箱的水温、盐度、光照和水质与暂养塑料桶保持一致, 幼鲮适应阶段饲养管理和实验阶段相同。

### 1.2.2 水族箱内光照度的调控及分布

用调压器调节出不同强度的光照, 光线在水族箱内沿着水平方向传播, 在水族箱内形成从距离光源近端到远端由强到弱的光照衰减(由 A 区到 D 区)。表 1 为不同电压调节下分布于水族箱中不同区域内中间位置的光照强度, 光线在水族箱中的衰减使水族箱不同区域形成明显的相对亮、暗区域(A 区和 D 区)。

表 1 不同强度光线在水族箱中不同区域内的光照度分布  
Tab. 1 The illumination intensity in the four districts of the glass tank with the 6 illumination leves of light

光源光照水平	光照强度(lx)			
	A	B	C	D
	8.8	3.8	1.9	0.9
	80.8	38.7	18.6	12.2
	57.8	25.8	134.9	88.5
	1140	548	283	178
	2790	1237	631	386
	4990	2260	1153	697

### 1.2.3 趋光实验方法

实验设定 3 个平行组, 2 种光照模式(模式 1 和模式 2)。模式 1 测定过程的光照强度由低到高逐步递增, 模式 2 测定过程的光照强度由高到低逐步递减。实验鱼在实验前全黑(0 lx)适应 1 h, 然后开灯进行定时拍照和人为观察, 1 次/min, 1 个照度持续 20 min, 结束后立即关灯进行全黑(0 lx)10 min, 然后进行下一个照度的观察, 整个实验 6 个照度共持续 180 min。实验鱼在模式 1 测定结束后暂养 1 d, 继续模式 2 测定, 实验过程和第 1 次相同。

### 1.2.4 统计方法

每个光照强度下只记录统计每分钟 A 区(光较亮区)和 D 区(光较暗区)内幼鲮的分布数量, 以该区域稳定分布后的平均数量占总数量的比值来表示趋光效果: 靠近光源的 A 区表示趋光性强, 远离光源的 D 区表示趋光性弱。

用两种方法去统计幼鲮的光反应行为: 每 5min 光照时间(以下用“光照时间 1”来表示)幼鲮分布数量平均值; 5、10、15、20 min 光照时间内(以下用“光照时间 2”来表示)幼鲮分布数量平均值。

### 1.2.5 数据分析

实验数据用平均值 ± 标准差(mean±SD)表示, 采用 spss11.5 的广义线性模型(General linear model)对四因素进行方差分析, 然后对单个因数进行方差分析(One-Way ANOVA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 光照模式、区域、时间和强度与幼鲮光反应的关系

光照模式和光照区域显著影响幼鲮光反应, 而光照强度和光照时间(光源照射 20 min 内)对幼鲮光反应无显著的影响(表 2)。光照模式和光照区域极显著影响幼鲮光反应, 而光照强度和光照时间对幼鲮光反应无显著的影响(表 3)。光照时间 1(表 2)和光照时间 2 统计结果(表 3)表明, 幼鲮在光照的不同时间段和不同长度的时间内光反应行为大致相同, 仅光照时间 2 统计结果下的光照模式更显著影响幼鲮的光反应行为。

### 2.2 幼鲮的光反应

当光照强度由弱到强变化时: 幼鲮在离光源

较近区(A区)的分布率在光照开始时较高,中间过程分布率逐渐降低,但随光强继续升高,分布率又逐渐升高;当光照由强变弱时:幼鲮在离光源较近区(A区)的分布率在光照开始时较高,随光强变弱分布率降低(图2)。

表2 在光照时间1内光照模式、时间、强度和区域与幼鲮光反应的关系

Tab. 2 The correlations of the juvenile mullet's reaction to the light stimulation with the illumination mode, illumination duration, illumination intensity and illumination districts in the illumination time 1

实验因子	因子水平	F 值	P
光照模式	2	5.27	0.022*
光照区域	2	111.67	0.000**
光照强度	6	0.16	0.534
光照时间	2	0.82	0.918
光照模式 × 光照区域	2×2	8.79	0.003**
光照模式 × 光照时间	2×4	0.47	0.749
光照模式 × 光照强度	2×6	1.07	0.378
光照区域 × 光照时间	2×4	0.29	0.830
光照区域 × 光照强度	2×6	9.85	0.000**
光照时间 × 光照强度	4×6	0.23	0.999

注：“\*”表示差异显著；“\*\*”表示差异极显著

表3 在光照时间2内光照模式、时间、强度和区域与幼鲮光反应的关系

Tab. 3 The correlations of the juvenile mullet's reaction to the light stimulation with the illumination mode, illumination duration, illumination intensity and the illumination districts in the illumination time 2

实验因子	因子水平	F 值	P
光照模式	2	12.48	0.000**
光照区域	2	168.49	0.000**
光照强度	6	0.05	0.406
光照时间	2	1.02	0.987
光照模式 × 光照区域	2×2	13.81	0.000**
光照模式 × 光照时间	2×4	0.26	0.852
光照模式 × 光照强度	2×6	1.37	0.235
光照区域 × 光照时间	2×4	0.06	0.981
光照区域 × 光照强度	2×6	10.64	0.000**
光照时间 × 光照强度	4×6	0.07	1.000

注：“\*\*”表示差异极显著

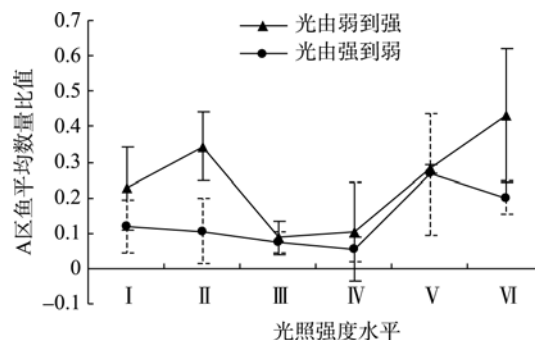


图2 不同强度光照后 A 区第 1~20 分钟内所分布鱼平均数量比值

Fig. 2 The fish percentage in the A between 1st and 20th minute with the different illumination level

当光照强度由弱到强变化时:幼鲮在离光源较远区(D区)的分布率在光照开始时较低,中间过程分布率逐渐升高,但随光强继续升高,分布率又逐步降低;当光照由强变弱时:幼鲮在离光源较远区(D区)的分布率较高,整个过程分布都较稳定(图3)。

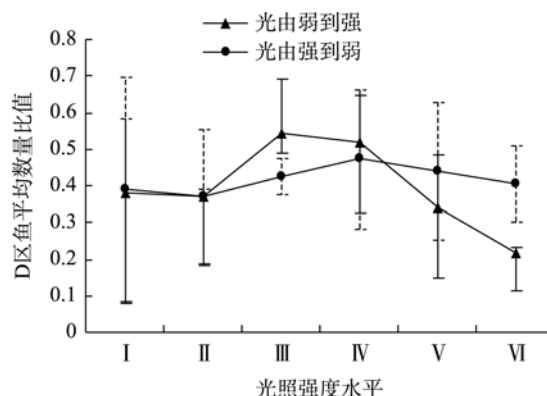


图3 不同强度光照后 D 区第 1~20 分钟内所分布鱼平均数量比值

Fig. 3 The fish percentage in the D between 1st and 20th minute with the different illumination level

### 2.3 幼鲮的趋光性

幼鲮在光源强度由弱变强的过程时,在光亮区和光暗区里都有一定的分布,但光亮区(A区)内分布平均比值0.24要显著低于光较暗区比值0.39(D区),对亮区的趋性较弱一些;幼鲮在光源强度由强变弱时,在光较亮区和光较暗区里都有一定的分布,但光较亮区(A区)内分布鱼平均比值0.13也极显著低于光较暗区比值0.49(D区),对亮区的趋光性更弱

(表 4)。

表 4 不同光照模式下幼鲮的趋光性

Tab. 4 Juvenile mullet's phototactic behavior in the different illumination mode

光照模式	A 区鱼平均比值	D 区鱼平均比值	P
L-H	0.2455±0.0673	0.3946±0.0584	0.044*
H-L	0.1363±0.0603	0.4174±0.0792	0.008**

注: L-H 表示光源强度由弱变强的过程, H-L 表示光源强度由强变弱的过程。“\*”表示差异显著, “\*\*”表示差异极显著。

### 3 讨论

#### 3.1 光照时间对幼鲮光反应的影响

幼鲮在光照时间 1 时间段内的光反应无明显稳定变化趋势,且在光照时间 2 内的光反应也无稳定变化趋势。今村<sup>[17]</sup>对鳊鱼(*Engraulis japonicus*)、红背圆鲮(*Decapterus maruadsi*)、竹荚鱼(*Trachurus trachurus*)、鲈鱼(*Scomber japonicus*)的室内实验肯定经过 1 h 的光照其眼睛不会产生适应或疲劳现象;川本等<sup>[18]</sup>的室内实验表明,不同鱼种在这方面的特性有所差异,趋光性较强的鲈鱼看不出有适应和疲劳的影响,但趋光性弱的蓝点马鲛等却很容易受到灯光时间长短的影响;井上<sup>[19]</sup>根据渔获记录对鲮(*Carangidae*)、鲈调查了光刺激时间和光诱效果的关系,发现 3 h 以上的光照会产生不利的影响。鱼类的趋光行为学实验中所使用光照时间也各不相同,俞文钊等<sup>[4]</sup>对蓝圆鲮(*Decapterus maruadsi*)和鲈鱼的趋光行为研究中所使用的光照时间为 5 min。何大仁等<sup>[15]</sup>对孔沙丁鱼(*Sardinella lemuru*)和勃氏银汉鱼(*Allanetta bleekeri*)趋光特性的研究中水平光梯度时间为 3 min。魏开建<sup>[6]</sup>对鳊鱼(*Siniperca chuatsi*)的趋光特性试验中所使用光梯度持续时间为 9 min。而 Marchesan 等<sup>[13]</sup>的光反应行为实验所使用的光梯度持续时间为 20min。本研究幼鲮在 20 min 光照内不同时间和不同时间段未出现明显的变化趋势,推断幼鲮在 20 min 内眼睛未产生光适应或疲劳。

#### 3.2 光照强度对幼鲮光反应的影响

在变化的光梯度下(共 6 个梯度)幼鲮的光反应无显著性的变化趋势,亦未发现幼鲮的适宜趋光照度区。在鱼类的趋光行为研究理论中存在着适宜照度,即鱼类有所喜欢的照度范围<sup>[11]</sup>。何大仁等<sup>[4,15]</sup>用光梯度法研究了蓝圆鲮、鲈鱼、孔沙丁鱼、

勃氏银汉鱼、棱鲮等的趋光行为。结果表明,蓝圆鲮的适宜照度区为  $10^{-1} \sim 10^{-3}$  lx, 鲈鱼的适宜照度区为 0.01~14 lx, 孔沙丁鱼对 0.1~1 lx 的白光趋光反应最强烈,勃氏银汉鱼的适宜照度为 10~100 lx, 棱鲮幼鱼的趋光性介于两者之间。本研究没有得出幼鲮的适宜照度可能原因是:(1)鱼类的适宜照度区比较窄,而本研究只是设定了 6 个光照梯度,没有形成一个较小梯度的光照环境;(2)在本研究所给予的 6 个光照梯度下幼鲮对光呈均等反应,所以灯诱光照强度对幼鲮光反应没有影响。

#### 3.3 光照区域对幼鲮光反应的影响

在变化的光照梯度下幼鲮对光反应较均等,但相对较喜欢更暗的区域。Marchesan 等<sup>[13]</sup>发现,当光照强度为  $0.2 \sim 68 \mu\text{E}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ 时,普通鲮表现为均等光反应,但较喜欢暗环境,这种反应随光照强度的改变保持不变。俞文钊等<sup>[4]</sup>的趋光实验中,发现棱鲮的趋光反应介于强和弱之间。本研究在 0.9~4 990 lx 的照度范围内幼鲮对光反应较均等,但较喜欢暗光,与以上研究结果类似。

#### 3.4 光照模式对幼鲮光反应的影响

本研究中光源由弱到强和由强到弱两种模式下幼鲮眼睛的光反应不一样。不同的光亮适应状态会显著影响光刺激阈值,暗适应时光刺激阈值减小,灵敏度增加;明适应时光刺激阈值增大,灵敏度降低<sup>[11]</sup>。徐永淦等<sup>[16]</sup>对普通幼鲮视网膜运动反应与环境光强做了研究,结果表明,当光强高于  $10^{-2}$  lx 时,光强越高,幼鲮视网膜从暗适应状态过渡到明适应状态的时程越快。由此可见,本研究幼鲮光反应不同是由于不同的光亮适应而引起的,幼鲮更适应于从暗适应状态过渡到明适应状态。

参考文献:

- [1] 武膜戈. 光照对水生动物的影响[J]. 河南教育学院学报(自然科学版), 2001, 10(2): 38-39.
- [2] 周显青, 牛翠娟, 李庆芬. 光照对水生动物行为的影响[J]. 动物学杂志, 1999, 34(2): 46-48.
- [3] 普罗塔索夫. 鱼类的行动[M]. 何大仁, 俞文钊, 译. 北京: 科学出版社, 1984. 2-39, 154-186.
- [4] 俞文钊, 何大仁, 郑玉水. 在光梯度条件下蓝圆、鲈鱼的行为反应[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1978, 4: 1-13.
- [5] 徐永淦, 刘理东. 我国鱼类及某些海洋无脊椎动物趋光生理研究评述[J]. 海洋科学, 1984, 6: 58-61.

- [6] 魏开建, 张海明, 张桂蓉. 鳊鱼苗在光场中反应行为的初步研究[J]. 水利渔业, 2001, 21(1): 4-6.
- [7] 苏锦祥, 周勤. 光照对黄盖鲮仔鱼生长、发育及摄食的影响[J]. 水产学报, 1999, 23 (1): 6-12.
- [8] 董双林, 董少国, 等. 光照周期对中国对虾稚虾蜕皮和生长的影响[J]. 中国水产科学, 2004, 11(4): 354-359.
- [9] David R. Preferred wavelengths of visible light for juvenile Atlantic menhaden[J]. *Nor Arner J Fish Manage*, 1985, 5: 72-77.
- [10] Yang Y-R. Response of rock fish to the colored light[J]. *Bull Korean Fish Soc*, 1985, 18(2): 119-123.
- [11] 何大仁, 蔡厚才. 鱼类行为学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1998. 108-110.
- [12] 俞文钊, 何大仁, 郑玉水. 蓝圆鲹和鲈鱼趋光行为的研究[J]. 海洋学报, 1981, 3(1): 149-156.
- [13] Marchesan M, Spoto M, Verginella L, *et al.* Behavioural effects of artificial light on fish species of commercial interest[J]. *Fisheries Research*, 2005, 73: 171-185.
- [14] 苏锦祥. 鱼类学与海水鱼类养殖[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995. 200-201.
- [15] 何大仁, 罗会明, 郑美丽. 孔沙丁鱼和勃氏银汉鱼趋光特性的研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1980, 19: 82-88.
- [16] 徐永淦, 何大仁. 黄鳍鲷和普通鲷鱼幼鱼视网膜运动反应初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1988, 2: 23-28.
- [17] 今村豊. 火光利用の渔业について(综合报告) [J]. 日本水产学会誌, 1972, 12-22.
- [18] 川本信之, 小西 治兵衛. 魚類の趨光性に及ぼす輻射エネルギーと波長との相互關係に就て[J]. *Doubutsugaku zasshi*, 1952, 61(3-4): 121-122.
- [19] 井上實. 魚の行動と漁法[M]. 東京: 恒星社厚生閣, 1979. 30-36

## Research on the phototactic behavior of *Mugil cephalus* larva under the different illumination conditions

WANG Yi-yao<sup>1,2</sup>, FENG Bo<sup>1</sup>, LU Huo-sheng<sup>1</sup>

(1. Fisheries College of Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China; 2. Hainan Fisheries Research Institute, Haikou 570206, China)

Received: Jun. 25, 2008

**Key words:** illumination factors; *Mugil cephalus*; phototactic behavior

**Abstract:** The wild black mullets of (40~60)mm length were observed and analysed to research their phototactic behavior in the 6 illumination levels and 20 minutes illumination time and 2 illumination modes and 2 illumination districts. The results were as follow, illumination intensity didn't influence the juvenile mullets' phototactic behavior significantly on the 6 levels ( $P>0.05$ ); the time length didn't influence the juvenile mullets' phototactic behavior significantly either ( $P>0.05$ ) within 20 minutes illumination time; the juvenile mullets had the average reactions to the illumination, but they prefer to the dimmer background ( $P<0.05$ ); the general tendency of the juvenile mullets' phototactic behavior was uniform in the 2 illumination modes, but there were significant difference between two of them in the phototactic degree ( $P<0.05$ ). It was indicated that the juvenile mullets make the average reactions to the different illumination intensities, but they prefer to the dimmer background.

(本文编辑: 谭雪静)