

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.01204

## 中华鲟子二代仔鱼对光照强度的趋性行为

郭柏福<sup>1</sup>, 袁涛<sup>1</sup>, 石小涛<sup>2</sup>, 高勇<sup>1</sup>

1. 中国长江三峡集团公司 中华鲟研究所, 湖北 宜昌 443100;
2. 三峡大学, 三峡库区生态环境教育部工程研究中心, 湖北 宜昌 443002

**摘要:** 设计4种点光源(100 lx、320 lx、960 lx、1 920 lx)光照模式, 以黑暗和面光源(68 lx)模式为对照, 以30 min为实验周期, 对中华鲟(*Acipenser sinensis*)子二代仔、幼鱼(5~29日龄)的趋光行为进行观察和统计分析。结果表明, 仔鱼处于平游期(5~8日龄)时, 点光源光照条件下活动鱼苗的趋光率显著高于对照组(黑暗环境和面光源)( $P < 0.05$ ), 而且点光源光照条件下活动鱼苗的趋光率随着光照强度的增强而增加, 并在1 920 lx与100 lx和320 lx间存在显著性差异( $P < 0.05$ )。平游期仔鱼的趋光性最为明显, 在设定的4种点光源光照强度中, 在100 lx的低强度光照下趋光性最强, 在960 lx光照强度下趋光性最弱, 且二者存在显著性差异( $P < 0.05$ ); 中华鲟子二代进入沉底期以后, 光照的影响作用明显减弱, 仔鱼基本失去趋光性。研究表明, 中华鲟子二代仔鱼具有平游期趋光性最强、趋弱光和沉底之后基本失去趋光性等行为特点, 这种趋光行为与野生中华鲟仔鱼基本一致。研究结果可为阐明中华鲟全人工繁殖后代生态适应性提供参考。

**关键词:** 中华鲟; 子二代; 光照强度; 趋光性

中图分类号: Q959.463; S917.4

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)06-1204-08

光照是影响鱼类生活的重要环境因子之一, 它不仅能影响鱼类的摄食、生长、繁殖及存活, 还能影响鱼类的趋光、集群和昼夜活动节律<sup>[1-7]</sup>, 鱼类的趋光反应特性对于探讨鱼类的行为机制和生态适应机制, 以及解决鱼类养殖过程中的养殖成活率等问题具有重要意义。

光照对鲟科鱼类仔幼鱼的影响已有广泛的研究<sup>[8-15]</sup>, 对中华鲟仔幼鱼影响的研究也较为深入, 并涉及趋光、栖息环境选择、摄食和生理等多个方面<sup>[16-19]</sup>, 但这些研究仅针对野生中华鲟和以野生成熟亲鱼经人工繁殖获得的子一代中华鲟。中国于2009年首次取得了纯淡水环境下子一代中华鲟全人工繁殖的成功, 获得了中华鲟子二代个体<sup>[20]</sup>。中华鲟全人工繁殖的成功标志着中国在中

华鲟物种保育方面取得了突破性进展, 但中华鲟子二代是否具备与野生中华鲟相同的生物学特性有待进行深入研究。本研究以中华鲟子二代初孵鱼苗为对象, 研究其仔鱼阶段对光照强度的趋性行为, 不仅可为中华鲟子二代的苗种培育提供生物学基础资料, 而且还将为阐明中华鲟全人工繁殖后代生态适应性, 深入开展中华鲟物种保护等方面提供参考依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验对象及养殖条件

实验鱼为中华鲟子二代初孵鱼苗, 其亲本为中国三峡集团中华鲟研究所三峡基地淡水环境下人工驯养的中华鲟子一代, 于2011年12月2日进

收稿日期: 2013-03-17; 修订日期: 2013-05-19.

基金项目: 国家科技支撑计划项目“三峡库区及长江中游生态系统结构与功能完善关键技术研究示范”(2012BAC06B04); 中国长江三峡集团公司中华鲟全人工繁殖研究项目(0799511).

作者简介: 郭柏福(1971-), 男, 主要从事濒危水生鱼类的繁殖保护研究. E-mail: guo\_baifu@ctg.com.cn

通信作者: 高勇, 高级工程师; 主要从事濒危水生鱼类的繁殖保护研究. E-mail: gao\_yong@ctg.com.cn

行人工催产繁殖, 出苗日期为 2011 年 12 月 8 日, 实验鱼苗初始数量为 516 尾, 全长 2.0~2.2 cm, 养殖池为中华鲟研究所三峡基地初孵鱼苗自循环车间内平底圆形塑料养殖桶( $\phi = 1 \text{ m}$ ,  $h = 0.5 \text{ m}$ )。鱼苗采用自循环水系统进行养殖, 补充水源为过滤后的长江水。实验期间, 养殖水温为 17.9~18.7°C, 每天按系统水体总量的 10%~20%对系统进行换水, 养殖水体水质始终保持优良( $\text{DO} > 7.5 \text{ mg/L}$ ,  $\text{NH}_4^+ < 0.02 \text{ mg/L}$ ,  $\text{NO}_2^- < 0.005 \text{ mg/L}$ )。实验鱼开口后, 以切碎的水蚯蚓为饵料进行投喂, 日投喂次数为 3 次, 投喂前清除死苗和粪便, 投喂半小时后, 及时清除残饵。

## 1.2 实验设计与方法

**1.2.1 实验设计** 实验时间为 2011 年 12 月 12 日至 2012 年 1 月 4 日, 即 5 至 29 日龄, 共计 24 d, 其中 2011 年 12 月 12~26 日, 每天开展一次实验, 2011 年 12 月 26 日之后(即 19 日龄后), 每 2~3 天对实验鱼进行趋光性测试。设计 3 个实验鱼平行组, 分别养殖于条件相同的 3 个养殖桶内, 各组初始实验鱼苗数量分别为 141、164、211 尾。

点光源的设置方式如下, 根据光照强度的不同, 用直径 10 cm 的 LED 可充电式应急灯提供 4 种光照强度和照射位置可控的点光源, 其强度分别为 100 lx、320 lx、960 lx、1 920 lx, 其放置的位置为紧贴养殖桶外侧壁距池底 40 cm 处, 使点光源形成的光柱位于养殖水体的中上层, 从而使点光源在养殖水体中沿着光照的方向, 以及养殖水体上层的光照层和养殖水体中下层的非光照层形成两种不同类别的照度差。并通过设置黑暗(完全无光)和面光源(日光灯, 在养殖车间内从养殖池上方照射, 养殖池内的光强度分布均匀, 其强度为 68 lx)作为对照。

**1.2.2 方法** 处理过程均在夜间进行, 为防止其他光照的影响, 对门窗加装遮光布进行避光处理。

**点光源处理** 在黑暗无光的情况下开启点光源, 从光源开启时开始计时, 试验周期为 30 min。在第 1、5、15、30 分钟的前 30 s, 对仔鱼的活动情况进行拍摄(SONY 数码摄录一体机, 型号: DCR-SR45E), 拍摄时长为 30 s。

**黑暗处理** 完全无光黑暗条件下, 开启室内日光灯(光照强度 68 lx, 经实验测试, 由黑暗环境突然转为该光照环境时, 中华鲟子二代仔鱼无惊愕反应, 对其行为基本无影响), 立即摄像 30 s, 记录仔鱼的分布, 以及水体表面游动及水下沉积的仔鱼。

**面光源处理** 提供日光灯(开启养殖室日常灯源, 光照强度 68 lx)30 min 后, 摄像 30 s 记录活动及不活动仔鱼的数量, 以及活动仔鱼的分布。

试验结束后, 回放视频记录(所有数据以连续截图对比和视频低倍速率播放观察为手段, 在窄时间范围多次计数取均值, 记录仔鱼的数量和位置), 统计特定光照区域内活动鱼苗的数量及比例; 同时根据中华鲟仔鱼在点光源光照条件下活动特点, 以游动鱼距离点光源的位置为依据设置 3 个仔鱼分布区域, 即  $U$ (距离点光源 0~1 cm),  $M$ (距离点光源 1~10 cm)和  $L$ (距离点光源 10~50 cm), 并统计其中的仔鱼数量。

在实验期内, 根据中华鲟仔鱼的游泳方式可分为两个阶段(50%以上个体展现该阶段的特征视为该群体进入该阶段), 即平游期(2011 年 12 月 12 日至 12 月 16 日, 即 5 至 8 日龄)和沉底期(2012 年 12 月 17 日以后, 即 9 日龄以上)。中华鲟子二代仔鱼经上述方法处理后, 按照这两个不同阶段, 以距点光源最近且受其影响最为明显的养殖缸 1/4 面积范围的水域为研究区域, 对该区域内的鱼苗活动情况进行统计分析(即以点光源为中心的养殖缸 1/4 面积范围内的统计结果)。

**趋光率:**  $\eta = (n/N) \times 100\%$ <sup>[21]</sup>。式中  $\eta$  为趋光率, 表示不同光区内中华鲟苗趋光反应的大小;  $n$  表示特定光区内中华鲟苗的分布数量(尾),  $N$  表示养殖缸内参与实验的鱼苗总数(尾)。 $\eta$  值越大说明鱼苗的趋光反应越强。实验利用趋光率分析中华鲟子二代仔鱼在不同光照条件下的分布特点, 研究其在养殖水体上层的光照层与中下层非光照层间形成的照度差情况下的趋性行为。

**趋光指数:**  $\text{IP} = (U - L_0) / (U + M + L)$ <sup>[22]</sup>, 变化值[-1, 1]之间,  $U$ 、 $M$ 、和  $L$  为在该距离段所统计的中华鲟子二代仔鱼数量; 中华鲟子二代仔鱼在  $L$  区内分布的数量较少, 且分布的随机性较强, 为确保计算的科学性, 用  $L$  区内与  $U$  区同等距离的鱼苗平均数

$L_0$ (即  $L/40$ )来表示该区域内同等距离鱼苗的分布数量。IP 正值时表示正趋光性, 负值表示负趋光性或失去趋光性。实验利用趋光指数分析中华鲟子二代仔鱼在养殖水体中点光源方向上所形成照度差的趋光特点, 研究中华鲟子二代仔鱼在不同点光源条件下趋性行为过程中对不同强度光照的选择性。

### 1.3 统计方法

试验数据通过 Excel 和 SPSS13.0 软件进行分析处理, 利用方差分析来检验光照强度对仔鱼行为影响的显著性, 并对各变量进行回归统计分析,  $P < 0.05$  为显著性水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同光照条件下中华鲟子二代仔鱼的分布

对比研究目标区域内处于平游期的中华鲟子

二代仔鱼的趋光率(对照组为活动鱼苗的比率), 分析不同光照条件对中华鲟子二代在养殖池内分布的影响。结果表明, 点光源组[100 lx: (24.5±10.0)%, 320 lx: (25.4±7.5)%, 960 lx: (27.7±6.2)%, 1 920 lx: (30.6±6.3)%]明显高于对照组黑暗处理[(15.8±5.1)%]和面光源[(14.0±4.5)%], 且点光源光照条件下活动鱼苗的趋光率随着点光源光照强度的增加而增加。方差分析结果显示, 黑暗条件与面光源光照条件下活动鱼苗数的比例间无显著差异, 但二者与所有点光源光照条件下的趋光率间均存在显著差异( $P < 0.05$ ); 在点光源光照条件下的趋光率间, 1 920 lx 与 100 lx 和 320 lx 间存在显著性差异( $P < 0.05$ ), 其他点光源光照条件间无显著性差异(图 1)。

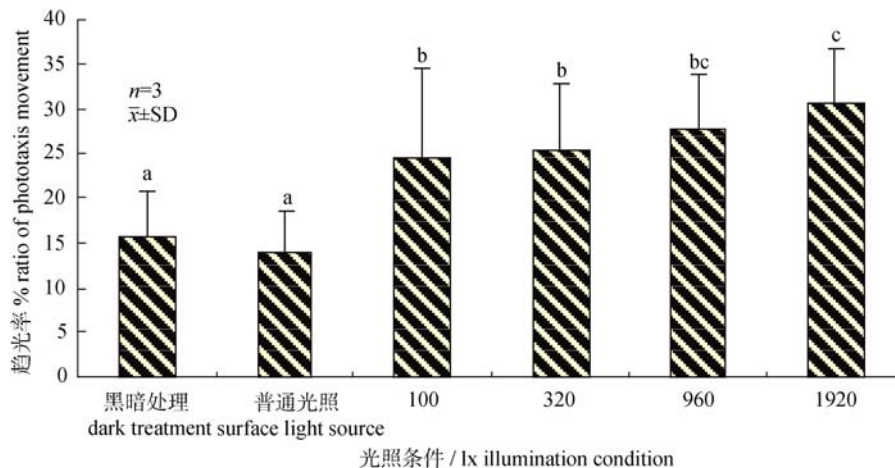


图 1 不同光照条件下中华鲟子二代活动鱼苗数比例的比较

柱上不同字母表示组间差异显著( $P < 0.05$ )。

Fig. 1 Comparison of active fry quantity scale of *A. sinensis* F<sub>2</sub> under different illumination conditions  
The different letters above the column mean the significant difference ( $P < 0.05$ ) between trials.

### 2.2 中华鲟子二代仔鱼在不同生长阶段对不同点光源的趋光性

**2.2.1 平游期的趋光性** 平游期的中华鲟子二代仔鱼对光照敏感, 其趋光性明显, 但对不同强度的光照, 其趋光性存在差异。在实验设定的 4 个光照梯度中, 中华鲟仔鱼对低强度的光照(100 lx)最敏感, 趋光性最强, 随着光照强度的增加, 其趋光性逐步减弱, 至 960 lx 强度的光照时趋光性相对最弱, 但当光照强度增加至 1 920 lx 时, 其趋光性又有所增强。同一实验周期内不同时间的监

测结果显示, 光源开启早期, 不同光照强度下中华鲟仔鱼趋光指数的差异性明显, 随着光照时间的延续, 这种差异性有逐步缩小的趋势。方差分析结果显示, 在光源开启的前 15 min 内, 中华鲟仔鱼的趋光指数在 100 lx 和 960 lx 两种强度间存在显著差异( $P < 0.05$ ), 在其他光照强度间无显著性差异(图 2)。

**2.2.2 沉底期的趋光性** 中华鲟子二代仔鱼进入沉底期以后, 对光照的敏感性明显减弱。受其影响, 在实验期内中华鲟仔鱼的随机分布性强, 其

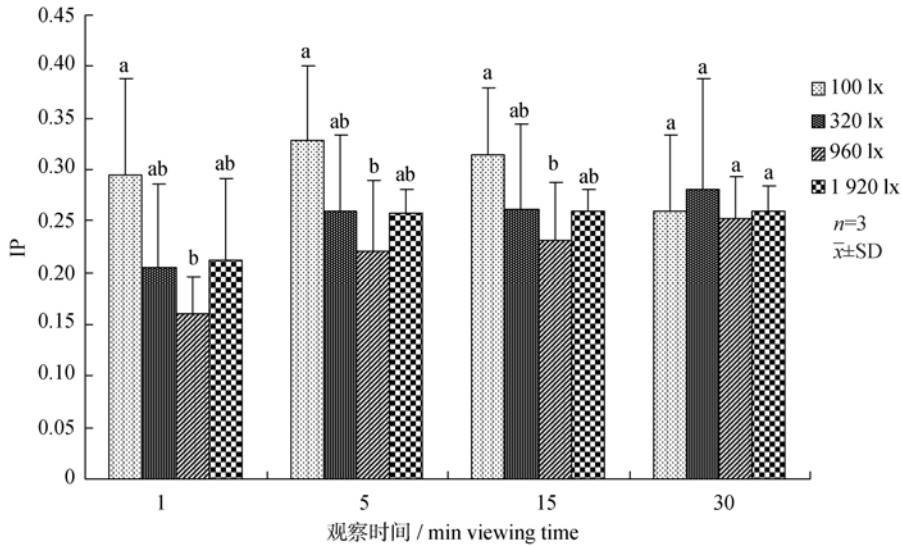


图 2 不同光照强度下中华鲟子二代仔鱼的趋光指数比较

同一时间组柱上不同字母表示光照强度组间差异显著 ( $P < 0.05$ ).

Fig. 2 Comparison of the phototactic index of *A. sinensis* F<sub>2</sub> under different illumination intensities

The different letters above the column in the same viewing time group mean the significant difference ( $P < 0.05$ ) between different light intensity trials.

趋光指数的变化大。同一实验周期内不同时间的监测结果显示,光源开启早期,不同光照强度下中华鲟仔鱼趋光指数的差异性较大,随着光照时间的延续,这种差异性有逐步缩小的趋势。但是,由于在设定光照强度下趋光指数变化的标准误均大于平均值,其结果无统计意义。

### 2.3 不同光照强度下的趋光指数与中华鲟仔二代仔鱼日龄的关系

中华鲟仔鱼在同一实验周期内同一光照强度

下的平均趋光指数与其日龄的散点分布呈曲线形式,如图 3 所示。选择反函数曲线方程  $y=b_0+b_1/x$ 、对数曲线方程  $y=b_0+b_1(\ln x)$  和六次曲线方程  $y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3+b_4x^4+b_5x^5+b_6x^6$  等多种模型对不同光照强度下中华鲟仔鱼的趋光指数与其日龄的关系进行拟合,评估 4 种不同光照强度下中华鲟仔鱼的趋光指数与其日龄的相关性,结果显示六次曲线方程  $y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3+b_4x^4+b_5x^5+b_6x^6$  最理想,回归方程分别为:

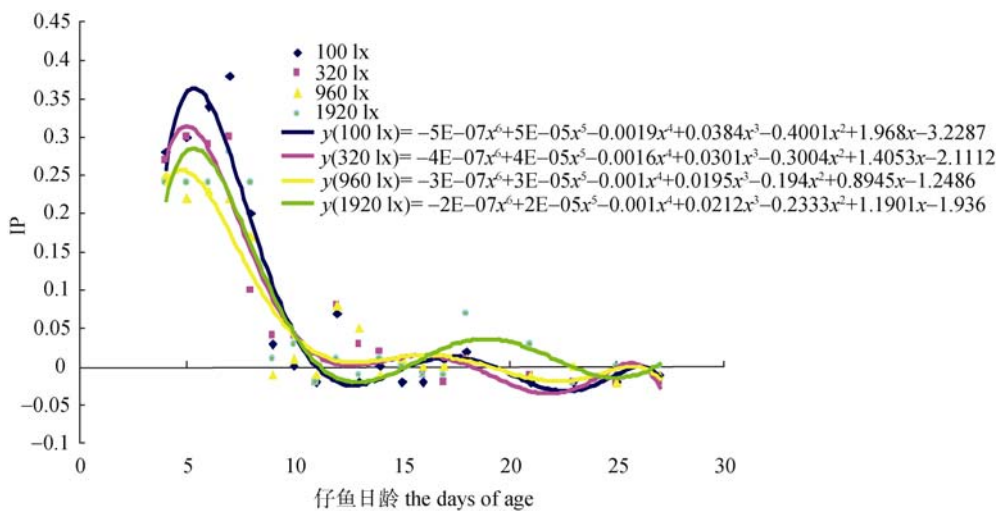


图 3 不同光照强度下中华鲟子二代仔鱼趋光指数与日龄的关系

Fig. 3 Relationship between the phototactic index and age of *A. sinensis* F<sub>2</sub> under different illumination conditions

$$y_{(100lx)} = -5E-07x^6 + 5E-05x^5 - 0.0019x^4 + 0.0384x^3 - 0.4001x^2 + 1.9680x - 3.2287 (R^2 = 0.9106);$$

$$y_{(320lx)} = -4E-07x^6 + 4E-05x^5 - 0.0016x^4 + 0.0301x^3 - 0.3004x^2 + 1.4053x - 2.1112 (R^2 = 0.9155);$$

$$y_{(960lx)} = -3E-07x^6 + 3E-05x^5 - 0.0010x^4 + 0.0195x^3 - 0.1940x^2 + 0.8945x - 1.2486 (R^2 = 0.8696);$$

$$y_{(1920lx)} = -2E-07x^6 + 2E-05x^5 - 0.0010x^4 + 0.0212x^3 - 0.2333x^2 + 1.1901x - 1.9360 (R^2 = 0.8827).$$

通过回归曲线分析,从总体趋势看,中华鲟子二代仔鱼在早期表现为较强的趋光性,至 5~6 日龄总体表现为最强,之后,随着日龄的增长其趋光性逐步减弱,至 11 日龄以后,其 IP 值接近于 0,曲线也趋于平缓,表明中华鲟子二代仔鱼基本失去趋光性。具体分析表明,10 日龄以前,中华鲟子二代仔鱼对 100 lx 的弱光最敏感,趋光性最强。10~16 日龄间,虽然其趋光性基本消失,但从曲线上看,仔鱼对不同光照强度的敏感性有差异,即对 320 lx 和 960 lx 强度光照有微弱的趋光性,而对于 100 lx 和 1 920 lx 强度的光照失去趋光性。16~25 日龄间,则仔鱼对 1 920 lx 强度光照具有一定的趋光性,而对其他 3 种强度光照失去趋光性。

### 3 讨论

#### 3.1 中华鲟子二代仔鱼的趋光行为

从总体上看,中华鲟子二代在仔鱼期间表现为平游期的趋光性最强,且趋弱光,沉底之后则基本失去趋光性,这种趋光行为与野生中华鲟仔鱼基本一致<sup>[16]</sup>。柴毅等<sup>[23]</sup>采用 1 200~1 500 lx 强度的光照,对中华鲟仔幼鱼的趋光性进行了研究,研究表明,中华鲟在 8 日龄前具有明显的正向趋光性,9~12 日龄出现避光行为,随后又逐步恢复趋光行为。本研究也得出了同样的结果,即中华鲟子二代仔鱼在平游期(5~8 日龄)时趋光指数最高,表明趋光性最强,进入沉底期(9 日龄以后)后,其趋光指数明显降低,说明正在失去趋光性,而到 14 日龄以后,在一定光照强度下(1 920 lx),其趋光指数又有所回升,说明在一定条件下趋光性有所恢复。Zhuang 等<sup>[17]</sup>研究了洄游到河口区的野生中华鲟幼鱼对光照强度等的选择性,结果显示中华鲟在 7 日龄以前具有明显的正向趋光性,7~10

日龄出现避光行为,随后又恢复正向趋光行为,该研究结果与中华鲟子二代的趋光行为基本一致。

#### 3.2 光照强度对中华鲟子二代仔鱼趋光性的影响

在鱼类的趋光性机制研究过程中,有学者提出了适宜照度理论,认为任何鱼类都有其喜欢的光照强度,并经常在有这种光照强度的水层中集群<sup>[1]</sup>。何大仁、俞文钊等<sup>[1]</sup>用光梯度法研究了蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi*)、鲈鱼(*Pneumatophorus japonicus*)、孔沙丁鱼、勃氏银汉鱼(*Brunton grunion*)、棱鲮(*Liza carinatus*)等的趋光行为。结果表明,蓝圆鲹的适宜照度范围为  $10^{-1} \sim 10^{-3}$  lx,鲈鱼的适宜照度范围为 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。柴毅等<sup>[24]</sup>研究发现中华鲟受精卵在强光 750 lx 以上和弱光 100 lx 以下孵化率均较低,在 250 lx 时获得最佳孵化率,表明中华鲟胚胎期即可感受光强度影响。

本研究表明,中华鲟子二代仔鱼的趋光反应对光照强度具有选择性,并且在不同的生长阶段喜好不同。在平游期及以前,对 100 lx 的低光照度喜好,趋光性明显;在沉底期则对较高的 1 920 lx 相对较为喜好,趋光性相对较强。

#### 3.3 光照时间对中华鲟子二代仔鱼趋光性的影响

鱼类的趋光行为学实验中所使用光照时间各不相同,大多为 3~9 min,时间均较短,没有专门针对光照时间研究鱼类趋光行为的持续性特征<sup>[5, 19, 21, 25-26]</sup>。王以尧等<sup>[7]</sup>研究幼鲮的趋光行为时,使用的光照时间为 20 min,但未发现该鱼的趋光行为随时间变化有明显的不同。本实验在同一周期内对中华鲟子二代仔鱼的特定光照时间为 30 min,并通过统计分析平游期仔鱼在同一周期内特定时间阶段的趋光行为,研究中华鲟子二代对光照的趋性行为。结果表明,光源开启早期,中华鲟子二代仔鱼对不同光照强度的选择性明显,不同光照强度下的趋光指数差异大,但随着时间的延续,这种差异逐渐缩小。这说明中华鲟子二代仔鱼在特定阶段具有趋光特性的同时,还有随着光照时间的延长,逐步适应不同光照强度的特点。

### 3.4 中华鲟子二代仔鱼的趋光机理

鱼类的趋光行为与视觉发育密切相关。在对牙鲈的研究中发现 3 天的仔鱼眼睛开始功能化, 刚开口的仔鱼视网膜中只有视锥细胞<sup>[27]</sup>。Blaxter<sup>[28-29]</sup>在对鲱鱼的研究中也发现这一现象, 认为视网膜运动反应是伴随着视杆细胞的产生而产生的。黄鳍鲷(*Sparus latus*), 和普通鲮鱼幼鱼研究中也得到类似的结论<sup>[30-31]</sup>。柴毅等<sup>[23, 32]</sup>对中华鲟眼球和视网膜的早期发育进行了研究, 从生理学方面证实了中华鲟在 9 日龄时为趋光行为的转折点, 认为在 9 日龄以前视网膜上出现高密度视锥细胞, 适于感受强光, 对光照具有明显的趋性行为, 9 日龄时出现视杆细胞, 仔鱼也开始转为底栖生活, 随着视杆细胞的增多, 仔鱼逐步适应弱光环境。中华鲟子二代也是在 8 日龄时开始沉底, 其趋光性也明显减弱, 与野生及子一代中华鲟仔鱼眼球和视网膜早期发育的进程基本吻合。

### 3.5 中华鲟子二代仔鱼光反应行为与生态适应性

仔幼鱼视觉对照度反应是个体适应性研究的重要内容。Boyd<sup>[9, 13]</sup>认为中吻鲟(*Acipenser medirostris*)和大西洋鲟(*Acipenser sturio*)早期幼鱼趋光行为与利用视觉摄食有关。而中华鲟则表现为其仔鱼期具有趋光行为, 随着仔鱼进入幼鱼期, 其生活习性从浮游生活转为底栖生活, 趋光行为随之消失<sup>[16]</sup>。柴毅等<sup>[32]</sup>解剖发现中华鲟眼睛较小且晶状体调节能力较差, 推断中华鲟幼鱼的视觉在觅食作用中不起重要作用。Zhuang 等<sup>[17]</sup>研究了中华鲟幼鱼对水深、照度、底质颜色等环境因子的选择性, 发现胚胎阶段即对光线敏感, 初孵鱼苗会立即向上游动和顺水漂游。关于鱼类趋光性的机制有多种假说, Прорачов<sup>[33]</sup>提出的阶段论认为光是作为形成鱼群、摄食和逃避敌害等的自然信号, 鱼类通过视觉适应机制造成对光的吸引作用, 从而形成趋光性。中华鲟早期趋光行为的生态适应性可以用这种理论来解释, 并推测, 中华鲟卵苗的天敌如圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)等多为水体中下层鱼类, 中华鲟仔鱼游泳能力差, 为了躲避敌害, 有通过追寻有光照的环境而转移到水体中上层生存的欲望, 并经过历史演化, 形

成了如今的趋光性。这种行为具有遗传性, 即便是纯淡水环境成长的亲本所繁殖的中华鲟子二代, 也具备这一固有的属性。

**致谢:** 李德星参与了部分实验工作, 万建义、田家元、舒德斌等工程师参与了实验期间中华鲟子二代仔鱼的养殖管理, 郑成黔和乐汉华等同事为实验的开展提供了帮助, 在此表示诚挚的谢意!

#### 参考文献:

- [1] 何大仁, 蔡厚才. 鱼类行为学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1998: 105-118.
- [2] 李修峰, 黄道明, 杨汉运. 光照对大眼鳊鱼幼鱼摄食强度的影响[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 31(2): 187-190.
- [3] 杨弘, 江苑, 肖炜, 等. 尼罗罗非鱼不同生长阶段的趋光性研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(32): 61-65.
- [4] 周显青, 牛翠娟, 李庆芬. 光照对水生动物摄食生长和存活的影响[J]. 水生生物学报, 2000, 24(2): 178-181.
- [5] 王武, 李伟纯, 马旭洲, 等. 水温与光照对瓦氏黄颡鱼幼鱼行为的影响[J]. 生态学杂志, 2008, 27(5): 791-796.
- [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] 王以尧, 冯波, 卢伙胜. 不同光照条件对幼鳊趋光行为影响的初步研究[J]. 海洋科学, 2010, 34(2): 49-53.
- [8] 李大鹏, 庄平, 严安生, 等. 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, 2004, 28(1): 54-61.
- [9] Boyd K, Erika P, Timothy P. Behavior of early life intervals of Klamath River green sturgeon, *Acipenser medirostris*, with a note on body color[J]. Biol Fish, 2005, 72: 85-97.
- [10] Boyd K, Manin H. Ontogenetic behavior and migration of Atlantic sturgeon, *Acipenser oxyrinchus oxyrinchus*, and shortnose sturgeon, *A. brevirostrum*, with notes on social behavior[J]. Env Biol Fish, 2002, 63: 137-150.
- [11] Zhuang P, Boyd K, Zhang L Z. Comparative ontogenetic behavior and migration of kaluga, *Huso dauricus*, and Amur sturgeon, *Acipenser schrenckii*, from the Amur River[J]. Env Biol Fish, 2003, 66: 37-48.
- [12] Boyd K, Erika P. Ontogenetic behavior and dispersal of Sacramento River white sturgeon, *Acipenser transmontanus*, with a note on body color[J]. Env Biol Fish, 2005, 74: 19-30.
- [13] Boyd K, Zhuang P, Zhang L Z. Ontogenetic behavior and migration of Volga River Russian sturgeon, *Acipenser gueldenstaedtii*, with a note on adaptive significance of body color[J]. Env Biol Fish, 2002, 65: 411-421.
- [14] Boyd K, Em H, Manin H. Ontogenetic behavior, migration,

- and social behavior of pallid sturgeon, *Scaphirhynchus albus*, and shovelnose sturgeon, *S. platyrhynchus*, with notes on the adaptive significance of body colour[J]. *Env Biol Fish*, 2002, 63: 389–403.
- [15] Boyd K, Zhuang P, Zhang T, et al. Ontogenetic behavior and migration of Dabry's sturgeon, *Acipenser dabryanus*, from the Yangtze River, with notes on body color and development rate[J]. *Env Biol Fish*, 2003, 66: 27–36.
- [16] 四川省长江水产资源调查组. 长江鲟鱼类生物学及人工繁殖研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1988.
- [17] Zhuang P, Zhang L Z, Boyd K, et al. Ontogenetic behavior and migration of Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis* [J]. *Env Biol Fish*, 2002, 65: 83–97.
- [18] 章龙珍, 王妤, 庄平, 等. 光照对中华鲟幼鱼生长及血液生化指标的影响[J]. *海洋渔业*, 2010, 32(2): 141–147.
- [19] 顾孝连, 庄平, 章龙珍, 等. 长江口中华鲟幼鱼趋光行为及其对摄食的影响[J]. *水产学报*, 2009, 33(5): 778–783.
- [20] 郭柏福, 常剑波, 肖慧, 等. 中华鲟初次全人工繁殖的特性研究[J]. *水生生物学报*, 2011, 35(6): 940–945.
- [21] 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.
- [22] 中云侠, 诸葛洪祥, 梁幼生, 等. 光强和光色对钉螺趋光性的影响[J]. *中国人兽共患病学报*, 2010, 26 (10): 939–941.
- [23] 柴毅, 谢从新, 危起伟, 等. 中华鲟视网膜早期发育及趋光行为观察[J]. *水生生物学报*, 2007, 31(6): 920–922.
- [24] 柴毅, 谢从新, 危起伟, 等. 不同水深和光照强度对中华鲟受精卵孵化率的影响[J]. *水利渔业*, 2008, (3): 32–33.
- [25] 俞文钊, 何大仁, 郑玉水. 在光梯度条件下蓝圆、鲑鱼的行为反应[J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 1978(4): 1–13.
- [26] 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.
- [27] Gunzo K, Kenichi I. Changes in sense organ morphology and behaviour with growth in the flounder (*Paralichthys alivaceus*) [J]. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 1985, 51(2): 155–169.
- [28] Blaxter J H S, Pattie Jones M. The development of retina and retinomotor responses in the herring[J]. *J Mar Biol Ass UK*, 1967, 47: 677–697.
- [29] Blaxter J H S. Development of sense organ and behaviour of teleost larvae with special reference to feeding and predator avoidance[J]. *Trans Amer Fish Soc*, 1986, 115: 98–114.
- [30] 徐永淦, 何大仁. 黄鳍鲷视网膜结构和超微结构的研究[J]. *海洋与湖沼*, 1990 (6): 544–549.
- [31] 徐永淦, 何大仁. 黄鳍鲷和普通鲮鱼幼鱼视网膜运动反应初步研究[J]. *海洋与湖沼*, 1988(2): 109–115.
- [32] 柴毅, 谢从新. 中华鲟眼球的早期发育[J]. *水生态学杂志*, 2009, 2(6): 124–126.
- [33] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 158–161.

## Phototactic behavior of second filial *Acipenser sinensis* larva

GUO Baifu<sup>1</sup>, YUAN Tao<sup>1</sup>, SHI Xiaotao<sup>2</sup>, GAO Yong<sup>1</sup>

1. Institute of Chinese Sturgeon Research, China Three Gorges Project Corporation, Yichang 443100, China;
2. Engineering Research Center of Eco-environment in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, China Three Gorges University, Yichang 443002, China

**Abstract:** Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) is a species of anadromous migratory large fish living for decades, and is a special rare fish in China. In 2009, we got the second filial generation (F<sub>2</sub>) from the F<sub>1</sub> of this species by complete artificial propagation under fresh water, which meant China got successful progress in conservation of *A. sinensis*. But the question is if there exists difference in biologic characteristics between the wild species and artificial F<sub>2</sub>. In this study, we tested the response of larval *A. sinensis* F<sub>2</sub> to four light intensities (100, 320, 960, and 1 920 lx), and two modes of illumination (dark and surface light source). The phototactic behavior of each individual was observed for 30 min/d for 24 consecutive days. Between 0–8 d after hatch (dah), the individual ratio of phototaxis movement in the groups under the dark treatment and surface light source illumination was significantly lower ( $P < 0.05$ ) than for those exposed to the point light source. Furthermore, the individual ratio under the point light treatment increased with increasing light intensity, and there was a significant difference in the ratio at 320 lx and 1 920 lx or 100 lx ( $P < 0.05$ ). At 8 dah, there was evidence of larval phototaxis at all four point light source intensities, though phototaxis was significantly higher at 100 lx than at 960 lx ( $P < 0.05$ ). The larvae were positioned on the bottom of the plastic jar and did not exhibit any significant phototaxis. Our results suggest that the second filial generation of Chinese sturgeon larvae are very sensitive to weak light between 0–8 dah, and gradually lose phototaxis after that time. This is consistent with observations of phototactic behavior in wild Chinese sturgeon larvae.

**Key words:** light intensity; phototactic behavior; second filial generation; *Acipenser sinensis*

**Corresponding author:** GAO Yong. E-mail: gao\_yong@ctgpc.com.cn