

气泡幕对黑鲷阻拦作用机制初探*

赵锡光

刘理东 何大仁

(青岛海洋大学水产学院 青岛 266003)

(厦门大学海洋系 厦门 361005)

提要 于 1987 年 3 月—1988 年 1 月在室内水池中观测黑鲷失去视觉后对气泡幕的反应, 比较同种参数气泡幕对正常视觉黑鲷与失去视觉黑鲷的阻拦效果; 采用大小适宜的红黑双层布将鱼的双眼裹住, 使鱼失去视觉, 探讨气泡幕对鱼类作用的机制。结果表明, 黑鲷失去视觉后, 活动受到很大限制, 游泳行为发生变化, 游速显著低于正常视觉时, 气泡幕对其阻拦率由正常视觉时 75.1% 下降到 45.2%, 下降了 39.8%。t-检验表明, 两种视觉状态下的阻拦率存在极显著差异 ($P < 0.01$)。黑鲷失去视觉后, 并未对气泡幕产生显著的适应。实验表明, 气泡幕除了对鱼类视觉产生作用外, 还对听觉及其它感觉产生作用。

关键词 气泡幕 作用机制 阻拦效果 黑鲷

学科分类号 Q175

鱼类可以通过视觉、听觉、地震感觉和触觉等途径感知气泡幕的存在。形成气泡幕的气泡在水中产生和上升运动过程中, 对鱼产生视觉作用、听觉作用和机械压力振动, 气泡幕对鱼类作用的机制一直是研究者所关注的焦点 (Кузнецов, 1969a; Лексуткин и др., 1963; Павлов и др., 1983)。对此, 目前主要有两种观点, 一种认为视觉作用是主要的, 决定着气泡幕的阻拦率; 另一种认为, 听觉作用是主要的。本文报道实验室条件下, 失去视觉的黑鲷对固定气泡幕的反应, 分析鱼类视觉及其他感觉在对气泡幕反应中所起的作用, 以期探讨气泡幕对鱼类作用的机制。

1 材料与方法

黑鲷 (*Sparus macrocephalus*) 体长 8.0—13.5cm, 于 1987 年 3 月—1988 年 1 月分批取自福建省水产研究所港尾养殖场。实验方法参见赵锡光等 (1997) 及刘理东等 (1988)。形成气泡幕的出气孔孔径为 0.5mm, 孔间距为 5.0cm。实验前, 用大小适宜的红黑双层布将鱼的双眼裹住, 放入实验水池中适应 24—48h。为便于观察, 水池用两盏 40W 日光灯照明, 中央水面光照度为 80 lx。实验数据处理见赵锡光等 (1997)。

2 结果

2.1 气泡幕对失去视觉黑鲷游泳行为的影响

不通气的空白实验表明, 当黑鲷的双眼被裹住失去视觉后, 其游泳行为发生变化。黑鲷有时在水池中缓慢游动, 有时以较快的速度沿水池作环形游动并从通气管上方穿过水

*农牧渔业部资助项目, 1987。赵锡光, 男, 出生于 1965 年 1 月, 博士, 讲师, Fax: 0086-0532-2879091。

收稿日期: 1995-10-23, 收修改稿日期: 1997-06-07

池中线,但游速显著低于正常视觉时(光照度为 86 lx);所处水层不固定,大部分时间在中下层游动;经过 24—48h 适应,鱼游到接近水池壁时,能改变游动方向,未出现撞到水池壁上。空白实验中,未发现有相互追赶、集群现象,也没有出现用头顶撞通气管的行为。

通气实验表明,在气泡幕形成的开始阶段,鱼受惊动,位于通气管附近的鱼会游离气泡幕,但并不象正常视觉时那样快速;在水池其他区域的鱼基本上仍同空白时一样游动,一般在中下层,游速基本上同空白实验。当游到气泡幕附近时,有时立即改变游动方向返回,有时则随水流上升到表层后又返回,不穿越气泡幕。随着通气时间的延长,开始有鱼穿越气泡幕(见表 1)。并且不象正常视觉时那样快速通过,而是水流冲着鱼体左右摇摆穿过。穿越气泡幕没有固定位置,有时从靠池壁处,有时从中央区域,有时从上层水,也有从靠近通气管的底层穿越气泡幕。有的鱼在一段时间内一直沿水池作环形游动,气泡幕对其似乎无效,一段时间后,会减慢游速,缓慢游动一会儿,然后又作环形游动,并穿越气泡幕。通气实验中,未发现互相追赶、斗架、集群现象,游动都是单尾鱼单独进行。

表1 通气实验中开始通气到鱼第一次穿过气泡幕的时间间隔 (min)

Tab.1 The time interval (min) between the beginning of aeration and the first fish's passing through the air-bubble curtain in aeration experiments

| 视觉状态 | 实验 次序 | 组 别 | | | | | 平均值 | 数据来源 |
|------|----------|-----|---|---|----|---|-----|----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| 正常视觉 | 第一次 | 1 | 6 | 3 | 4 | 1 | 3.0 | 赵锡光等 (1997) |
| | 第二次 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1.8 | |
| | 第三次 | 3 | 2 | 4 | 1 | 3 | 2.6 | |
| 失去视觉 | 第一次 | 2 | 4 | 3 | 12 | 1 | 4.4 | 本文 |
| | 第二次 | 6 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2.6 | |
| | 第三次 | 13 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3.8 | |

2.2 视觉与气泡幕的阻拦作用

与正常视觉时相比,黑鲷失去视觉后,空白实验中,每 10min 通过水池中线的尾次数明显降低,表明失去视觉后,其活动受到很大限制;当气泡幕存在时,失去视觉的黑鲷通过水池中线的尾次数明显比空白实验时低,表明气泡幕对失去视觉的黑鲷仍具阻拦作用,见表 2。气泡幕对正常视觉和失去视觉黑鲷的平均阻拦率分别为 75.1%(赵锡光等, 1997)和 45.2%,见表 3。将气泡幕对两种视觉状态黑鲷的阻拦率采用成组数据平均数比较法进行 t -检验,方差齐性分析表明,两组数据的方差缺乏齐性 ($F = 8.76 > F_{0.025(14,14)}$),显著性水准 $P = 0.05$)。采用调整 t 的临界值的办法进行 t -检验(杨纪珂等, 1985),计算得 $t = 3.456 > t'_{0.01} = 2.977$,表明两组数据之间存在极显著差异 ($P < 0.01$),即当黑鲷失去视觉后,气泡幕对其阻拦率极显著下降,下降 39.8%。

2.3 气泡幕作用下两种视觉状态黑鲷游泳行为的时间变化

观察表明,两种视觉状态下,黑鲷在气泡幕形成的最初阶段都不通过气泡幕,此时气泡幕对其具有绝对的阻拦作用;但这一阻拦作用的时间都比较短,随着通气的继续,开始有鱼穿过气泡幕,在随后的通气过程中,两种视觉状态的黑鲷皆以比较均匀的频率来回穿过气泡幕,见表 1、表 4。 t -检验表明,从开始通气到黑鲷第一次通过气泡幕的时间间隔,两

表2 通气实验及空白实验中相应10min黑鲷通过气泡幕或通气管的平均尾次数

Tab.2 Average number of *S. macrocephalus* passing through the air-bubble curtain or the air pipe for a ten-minute period in aeration and control experiments

| 视觉状态 | 实验类型 | 时间序列 (min) | | | | | | 数据来源 |
|------|------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| | | 0—10 | 11—20 | 21—30 | 31—40 | 41—50 | 51—60 | |
| 正常视觉 | 通气实验 | 19 | 20 | 20 | 22 | 18 | 17 | 赵锡光等 (1997) |
| | 空白实验 | 83 | 81 | 76 | 67 | 71 | 70 | |
| 失去视觉 | 通气实验 | 15 | 26 | 24 | 23 | 26 | 24 | |
| | 空白实验 | 44 | 43 | 43 | 46 | 48 | 43 | |

种视觉状态间无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.4 失去视觉的黑鲷对气泡幕适应情况

气泡幕对失去视觉黑鲷重复实验的平均阻拦率见表3, 方差分析表明, 三次重复实验的阻拦率间无显著差异 ($F=0.025 < F_{0.05(2,12)}$); 表1显示, 从开始通气到失去视觉的黑鲷第一次通过气泡幕时间间隔, 随着实验重复次数的

的增加而缩短, 但方差分析无显著差异 ($F=0.25 < F_{0.05(2,12)}$); 通气实验中, 虽然失去视觉的黑鲷在前10min内通过气泡幕的尾次数小于以后相应时间的尾次数(表4), 但用每10min通过气泡幕的百分率进行方差分析, 并无显著差异 ($P > 0.05$): 这都表明黑鲷失去视觉后, 并未对气泡幕产生显著的适应。

表3 气泡幕对失去视觉黑鲷重复实验的平均阻拦率

Tab.3 Average obstructing rate of air-bubble curtain to blinded *S. macrocephalus* in repeated experiments

| 实验次序 | 阻拦率 (%) |
|------|---------|
| 第一次 | 47.3 |
| 第二次 | 45.8 |
| 第三次 | 42.6 |
| 平均值 | 45.2 |

表4 通气实验中每10min鱼通过气泡幕的平均尾次数和平均百分率

Tab.4 Average number and percentage of fish passing through the air-bubble curtain for each ten-minute period in aeration experiments

| 视觉状态 | 时间序列 (min) | | | | | | 数据来源 |
|------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| | 0—10 | 11—20 | 21—30 | 31—40 | 41—50 | 51—60 | |
| 正常视觉 | 19 | 20 | 20 | 22 | 18 | 17 | 赵锡光等 (1997) |
| | 21.2% | 16.5% | 15.1% | 18.9% | 15.1% | 13.3% | |
| 失去视觉 | 15 | 26 | 24 | 23 | 26 | 24 | 本文 |
| | 12.5% | 22.8% | 14.8% | 16.4% | 18.8% | 14.7% | |

3 讨论与结论

3.1 实验表明, 黑鲷的双眼被裹住失去视觉后, 活动受到很大限制, 游速明显低于正常视觉时。空白实验中, 失去视觉的黑鲷无相互追赶行为, 不集群, 未出现用头顶撞通气管的行为, 这与正常视觉时的行为不同, 可能与失去视觉有关。通气实验中, 失去视觉的黑鲷穿越气泡幕时, 不象正常视觉时那样快速通过, 而是水流冲着鱼体左右摇摆穿过, 这可能是失去视觉后, 其定向机能下降、游速不得不减慢的缘故。

3.2 黑鲷失去视觉后, 气泡幕对其阻拦率显著下降, 这表明在对气泡幕的感觉中, 黑鲷

的视觉起非常重要的作用。

3.3 与正常视觉时一样(赵锡光等, 1997), 黑鲟失去视觉后, 并未对气泡幕产生明显的适应。

3.4 气泡幕对鱼类的作用机制尚不十分清楚。一般认为形成气泡幕的气泡在水中产生和上升过程中, 对鱼有三种刺激作用。一是视觉作用, 即气泡在水下产生后, 垂直上升到水面, 形成一个帷幕或者说是一堵气泡“墙”, 这在鱼的视野范围内将对鱼产生一种视觉刺激, 形成视觉屏障。二是听觉作用, 从出气孔以很大速度抛出的空气跟水强烈地混合, 靠近出气孔处空气流的运动具有涡流特性, 以及气泡在上升过程中逐渐膨大, 气泡内声波压力周期性变化引起气泡内空气振动, 以及气泡冲出水面破碎时, 这些都将产生声响。作者对实验水池中气泡幕的声响进行了测试(赵锡光等, 1997), 发现其频率范围很广, 从 0—25kHz, 甚至更高的频率, 主要是 2kHz 以下的低频声, 而 100—1 000Hz 刚好是鱼类听觉最敏感的范围(普罗塔索夫, 1984), 同时, 鱼对声感觉的阈值很接近人的听觉阈值(普罗塔索夫, 1984; 里查荪, 1961; Кузнецов, 1969a), 所以气泡幕产生的声对鱼将产生较强的听觉刺激。最后是机械压力振动, 形成气泡幕的压缩气体从出气孔高速喷出时, 以及气泡在上升运动过程中都会强烈搅动水体, 使水的压力发生变化, 产生低频机械振动, 这种振动会被鱼的侧线器官所感觉(茅绍廉, 1985)。

鱼类对气泡幕的感觉可以通过 4 种途径, 即视觉、听觉、地震感觉和触觉。上述三种刺激中哪一种是主要的, 目前主要有两种观点: 一种认为视觉作用是主要的, 决定着气泡幕的阻拦率; 另一种则认为主要是听觉作用。多数研究者认为, 鱼对气泡幕的反应与视觉感受有关(Лексуткин и др., 1963; Павлов и др., 1983), 他们是根据在黑暗中鱼通过气泡幕。Павлов等(1983)的实验发现, 在光照条件下所有停留在气泡幕前的鱼, 在关闭光源 20min 后通过气泡幕; 而在黑暗条件下在最初的两分钟即通过气泡幕。Brett等(1958)发现, 气泡幕在白天对幼鲑的导鱼效果很好, 而在黑暗中, 导鱼效果大大下降。在气泡幕区中鱼类定向时, 视觉作用作为主导机制的间接证据是选择喷气管出气孔孔距和孔径大小。不同的研究者所提出的适宜孔径和孔距有很大差别(赵锡光等, 1989, 1997), 这可能与鱼能看到气泡幕的最大距离有关。即与气泡幕对鱼类产生的视觉作用的效果有关。此外, Павлов等(1983)在气泡幕密度变化的实验中也证实鱼类的视觉器官在感受气泡幕时起主导作用。也有学者认为(Кузнецов, 1969a), 引起鱼类反应的基本刺激是气泡幕产生的声, 而鱼类的视觉所起的作用并不显著。Кузнецов(1969a)认为, 在水族箱和小船条件下进行气泡幕实验, 会产生声场失真, 在这种情况下, 鱼的听觉无法定向, 只能靠视觉定向, 所以在降低照度时, 鱼也不能靠视觉感受气泡幕; 在这种条件下, 鱼能无阻拦地通过任何一种气泡幕, 由此得出一个结论, 关于视觉器官在感受气泡幕中起主导作用; 但在高照度下, 水族箱中的气泡幕不能作为鱼类不可克服的障碍, 经常鱼是靠近水族箱壁处通过, 因为该处的声场被从壁和底的反射所破坏。他认为气泡幕的阻拦效果是和频率为 3—6kHz 的声压振幅大小呈线性关系(Кузнецов, 1969b)。

气泡幕对正常视觉黑鲟和失去视觉黑鲟阻拦作用的实验结果表明, 当鱼失去视觉后, 气泡幕的阻拦率明显下降, 下降 39.8%, 但此时气泡幕的阻拦作用并没有完全消失, 表明鱼的听觉器官和侧线系统等感觉系统也参与了感知气泡幕。本实验是在室内水池

中进行的, 由于受水池空间的限制, 在气泡幕形成过程中所产生的声响, 受池壁、池底等多处反射和折射, 使得声频混杂。气泡幕声谱分析中可以发现, 虽然形成一定梯度的声场, 但声场梯度不是很显著, 在这种情况下, 鱼的听觉定向作用被大大削弱; 相反, 由于水池中透明度高(大于水池长度), 鱼在水池中任何位置都可见到气泡幕的存在。因此, 作者认为气泡幕对鱼类的阻拦作用中, 鱼的视觉和听觉都起着重要的作用, 在不同的条件下和不同种鱼, 其作用大小有所不同。

参 考 文 献

- 刘理东 何大仁, 1988. 五种淡水鱼对固定气泡幕反应初探. 厦门大学学报自然科学版, 27: 214—219
- 杨纪珂 齐翔林编著, 1985. 现代生物统计. 合肥: 安徽教育出版社. 129—131
- 茅绍廉编著, 1985. 鱼类行动与捕鱼技术. 北京: 海洋出版社. 157—165, 172—173
- 赵锡光 何大仁 刘理东, 1989. 几种孔径气泡幕对黑鲷的阻拦作用. 厦门大学学报自然科学版, 28: 83—87
- 赵锡光 何大仁 刘理东, 1997. 不同孔径气泡幕对黑鲷的阻拦效果. 海洋与湖沼, 28: 285—293
- 里查荪 E G 主编, 章启馥等译, 1961. 声学技术概要(上册). 北京: 科学出版社. 219—220
- 普罗塔索夫 B P 等著, 何大仁等译, 1984. 鱼类的行为——鱼类定向机制及其在捕鱼业上的应用. 北京: 科学出版社. 39—49, 214—222, 259—260
- Brett, J R, Alderdice, D F, 1958. Research on guiding young salmon at two British Columbia field stations. Bull Fish Res Bd Can, 117: 1—75
- Кузнецов, Ю А, 1969а, Влияние воздушных завес на поведение рыбы. Рыбное Хозяйство, 9: 53—55
- Лексуткин, А Ф, Соколов, И М, 1963. Ореакций рыб ва завесу из пузырьков воздуха. Сб. НТИ ВНИР О, 6: 38—53
- Павлов Д С, Пахоруков, А М, 1983, Биологические основы защиты рыб от попания в водозаборные сооружения. Москва: Легкая и пищевая промышленность. стр. 125—132

A STUDY ON THE INTERCEPTING MECHANISM OF AN AIR-BUBBLE CURTAIN ON BLACK PORGY (*SPARUS MACROCEPHALUS*)

ZHAO Xi-guang, LIU Li-dong[†], HE Da-ren[†]

(College of Fisheries, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003)

[†](Department of Oceanography, Xiamen University, Xiamen, 361005)

Abstract Indoor experiments were undertaken to investigate into the intercepting effects of an immovable air-bubble curtain (IBC) on artificially blinded black porgy (*Sparus macrocephalus*) during March 1987 to January 1988. The IBC was constructed from a hard polyethylene pipe (17.5 mm i.d.), fixed on the middle part of the bottom of an experimental tank, from which columns of bubbles escaped through a series of holes (0.5 mm i.d.) bored in the upper side of the pipe at 5.0cm intervals. Compressed air with a pressure of 0.25kg / cm² was supplied by a compressor (Model: A1301, Japan). The experimental tank (3.5m long, 2.5m wide, and 0.8m deep), filled with

seawater with more than 3.5m diaphaneity, was surrounded with black cloth. The tank top was illuminated with two 40W fluorescent lamps giving 80 lx on the central surface to facilitate monitoring fish behaviors. The experimental fish, with a 8.0—13.5 cm body-length, were obtained from a local fish hatchery in Xiamen and maintained in the laboratory for 1—2 days prior to test. Twenty-five fish in good conditions were randomly selected and divided into five groups to be tested. The five fish with their eyes being blinded with a folded red-black cloth were put in the experimental tank and allowed to acclimate the new environment for 24—48h prior to test. Each experiment was carried out by dividing into two testing sections, for an aeration experiment and a control experiment (without IBC). The observation period of each section was 1h. The control experiment was performed randomly before or after the aeration experiment. Three replicates were successively carried out for each of the fish groups. In all experiments, the behaviors of fish were observed with a CC-1 500 television camera mounted over the tank, and the events were recorded on a video-tape. The time when the fish passed through the air-bubble curtain or the air pipe and the number of passage were registered readily. The results show that when fish lose their visions, their activities are restricted and they swim slower than those in a normal vision state. The IBC is still an obstacle to the blinded fish. The obstructing rate of IBC to fish decrease from 75.1% (normal) to 45.2% (blinded). There is a significant difference in the obstructing rate (t -test, $P < 0.01$) between the two vision states. In addition, the black porgy has no marked adaptation to IBC when they lose their vision. The results suggest that the air-bubble curtain has effects on the behaviors of the black porgy through its vision, audition and other sensory systems. Perhaps these effects vary under different conditions and with different fish species.

Key words Air-bubble curtain Intercepting mechanism Intercepting effect *Sparus macrocephalus*

Subject classification number Q 175