

不同密度气泡幕对花鲢和白甲鱼的阻拦效应

白艳勤¹, 罗佳¹, 牛俊涛¹, 陈求稳¹, 朱海峰¹, 刘德富¹, 许勇¹, 石小涛^{1,2}

(1. 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;

2. 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 武汉 430079)

摘要:以贵州北盘江的花鲢(*Hemibarbus maculatus*)和白甲鱼(*Onychostoma sima*)为研究对象,在矩形水槽中设置由气压为14.7 kPa,孔距为1.0 cm、2.5 cm、4.0 cm,孔径为1.0 mm、1.5 mm、2.0 mm所组成的9组气泡幕密度,采用单因子试验法研究不同密度的气泡幕分别对花鲢和白甲鱼的阻拦效果。结果表明,9种密度的气泡幕对花鲢和白甲鱼均有一定的阻拦效果,其中花鲢在密度Ⅲ(孔距1.0 cm、孔径2.0 mm)时阻拦效果最好,阻拦率为 $(96.00 \pm 2.65)\%$ 。白甲鱼在密度Ⅱ(孔距1.0 cm、孔径1.5 mm)时阻拦效果最好,阻拦率为 $(95.33 \pm 3.06)\%$ 。本研究可以为物理屏障拦鱼技术提供一定的理论和技术参考。

关键词:气泡幕;花鱼骨;白甲鱼;阻拦效应

中图分类号:S957 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2013)04-0063-07

西南能源开发是我国的能源策略之一,北盘江作为西南地区重要的水能储备流域已经或正在建设多个水电站。水电建设对北盘江的鱼类资源造成一定的负面影响,以致喜急流生活的鱼类如长臀鮠(*Cranoglanis boudierius*)、花鱼骨(*Hemibarbus maculatus*)和白甲鱼(*Onychostoma sima*)的数量减少,在鱼类资源中所占的比例不断下降(纵霄和常理,2008)。随着北盘江流域的进一步开发和鱼类资源量的下降,有必要针对当地特有鱼种开展鱼类资源保护技术的研究。

定向驱导技术是鱼类资源保护技术的重要组成部分。有学者将外界环境因子如气泡、光照、声音、水流等影响鱼类行为的因素作为切入点对鱼类行为进行研究,尝试作为鱼类资源保护技术;其中,气泡幕技术被认为是鱼类潜在无损保定向驱导技术之一。国外学者在20世纪30年代就将气泡幕试用到渔业生产和鱼类资源保护中,从管中释放出的压缩空气在水中所产生的气泡幕可以起到阻止鱼群运动的效果,同时可通过改变气泡幕的形状将鱼群驱赶到一处,达到聚集鱼群的目的;国外学者的试验证实,气泡幕对鱼类行为有影响,其密度决定阻拦效果,而密

度是由单位长度通气管上的孔数(孔距)、出气口的大小(孔径)以及压缩空气的压力等决定(乔云贵等,2011)。目前,国内也有学者开始研究气泡幕对罗非鱼(*Tilapia*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鲫(*Carassius auratus*)、黑鲷(*Sparus macrocephalus*)、青石斑鱼(*Epinephelus awoara*)和红鳍东方鲀(*Fugu rubripes*)游泳行为的影响,其中气泡幕对罗非鱼、鲢、鳙、草鱼和鲫的阻拦效果并不理想(赵锡光等,1997;刘理东和何大仁,1988;陈勇等,2002);上述研究表明,气泡幕技术对各种鱼类的驱导效果有所不同,可能与鱼种、气泡幕形式以及测试环境有关。因此,针对不同的鱼类需要研究效果最优的气泡幕技术。结合北盘江流域开发的鱼类保护需求和鱼类行为对气泡幕的响应特征,本研究选择花鲢和白甲鱼为试验对象,探讨气泡幕对其阻拦效应。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用鱼为贵州北盘江增殖放流站提供,花鲢体长 (8.20 ± 1.10) cm,体重 (7.64 ± 4.12) g,白甲鱼体长 (8.10 ± 0.80) cm,体重 (9.53 ± 2.55) g,暂养于三峡大学生态水工实验室,暂养缸规格为4 m×4 m×1.2 m的方形水池。暂养7 d,待其状况稳定、正常进食游动后开始进行试验。试验用水为曝气48 h以上的自来水,暂养期间,持续曝气,每天换水25%左右;期间水温18℃,自然光照周期。共获

收稿日期:2013-04-16

基金项目:国家自然科学基金(50979049, 51009082, 51210105017);水利部公益性行业科研专项(201201030);水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室开放基金。

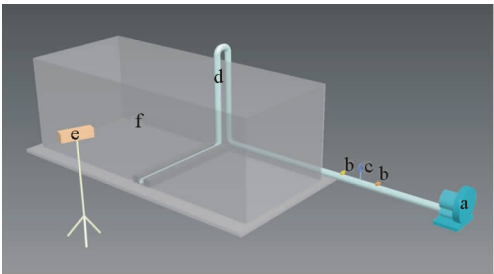
通讯作者:石小涛,博士,硕导。E-mail: sxtshanghai@163.com

作者简介:白艳勤,1987年生,女,硕士研究生,主要从事鱼类行为学研究。E-mail: sxdxbyq1987@163.com

得2种试验鱼的样本各200尾,每次随机选取5尾大小均等的健康试验鱼。试验结束后,将鱼放入另一个直径2.0 m × 0.5 m × 0.3 m的圆形水槽暂养。根据行为学试验要求,同一鱼不进行重复试验,以防止试验用鱼对环境产生适应而影响试验结果的可靠性(何大仁和蔡厚华,1998)。

1.2 试验装置

试验装置为自制鱼类游泳水槽(图1),规格为5.0 m × 0.44 m × 0.7 m,水槽建在全封闭室内,便于控制光照和水温,上方用日光灯照明,水温(18 ± 1)℃。在水槽一边的中央底部铺设1根内径为2 cm的PVC管,管的上侧钻有一排小孔。由HG-750旋涡式充气增氧机(最大风量72 m³/h)产生的压缩空气,从水底PVC管上的排气孔喷出气泡。在水槽外面的PVC管上设置气压表,用以测量气压的大小并保证每种密度下气压相等(14.7 kPa),气压表前后分别设置1个阀门,右边的阀门用以控制气压的大小,左边的阀门防止回水倒流,在关闭充气泵时需立即关掉阀门。试验采用视频监控,在水槽侧面安置1个数字摄像机(SL-6320AK),用以观测试验鱼的游泳行为并通过视频统计试验数据。



a. 充气增氧机;b. 阀门;c. 气压表;d. PVC管;e. 摄像头;f. 水槽

图1 气泡幕装置示意

a. Inflatable aerator; b. Valve; c. Barometer; d. Polyvinylchlorid tube; e. Camera; f. Experimental tank

Fig. 1 Bubble curtains device

1.3 试验方法

根据不同的孔距和孔径设置9组气泡幕拦鱼试验密度(表1)。试验水深40 cm。进行试验前,调节试验水槽与暂养水槽内水温保持相近(±1℃)。试验过程中,停止给试验水曝气。每次从暂养水槽中随机捞取5尾健康无损伤的试验鱼放入水槽,适应30 min后,利用摄像机开始记录40 min没有气泡幕情况下试验鱼自由游泳时通过中线PVC管的次数,40 min后待5尾试验鱼全部在中线PVC管一侧时,开启充气增氧机,再记录40 min气泡产生后试验鱼

表1 气泡幕拦鱼试验分组设计

Tab. 1 Group divisible design of bubble curtains blocking fish

参数	试验分组编号								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
孔距/cm	1.0	1.0	1.0	2.5	2.5	2.5	4.0	4.0	4.0
孔径/mm	1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0	1.0	1.5	2.0

通过气泡的次数。每一个密度下的气泡幕试验重复3次。一组试验完成后,更换水槽底部钻有小孔的PVC管,继续试验。鱼类在摄食前后活动行为存在差异(Rueda et al,2004),为排除此种情况,每次试验均在投喂结束一段时间后开始,每天投喂1次,时间为20: 00,试验时间为8: 30 ~ 19: 30。

1.4 数据处理

统计试验鱼在气泡开启前40 min内通过中线的次数、气泡开启后40 min内试验鱼尝试通过气泡幕的次数以及通过气泡幕的次数;其中,当试验鱼先接近气泡幕,由于视觉因素或是机械压力振动因素等,致使试验鱼没有穿过气泡幕而是游离气泡幕视为尝试通过。比较试验鱼在开启气泡后每隔10 min尝试通过和通过气泡幕的次数,了解其是否会在试验所设时间内对气泡幕产生适应现象。

气泡幕对2种试验鱼的阻拦效果主要由通过率和阻拦率的大小判断,气泡幕的阻拦率越大,通过率

越小,说明气泡幕的阻拦效果越好(陈勇等,2002)。通过率(PR)和阻拦率(OR)的计算公式如下:

PR = NPA/NPC × 100%

OR = (1 - PR)

式中: NPC 为无气泡时40 min内试验鱼通过PVC管(或水池中线)的尾次数; NPA 为开启气泡幕后40 min内试验鱼通过气泡幕的尾次数。

采用单因素方差分析(One-way ANOVA)检验试验鱼在不同密度气泡幕下出现次数百分比的差异是否显著,以及气泡开启前试验鱼通过中线的次数,气泡开启后试验鱼尝试通过气泡幕次数和已经通过气泡幕次数之间的差异是否显著,统计值使用平均值 ± 标准差 (Mean ± SD) 表示, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著;分析尝试通过气泡次数、通过气泡次数与时间之间的相关性, $P < 0.05$ 表示存在相关性,检验用SPSS17.0统计软件进行。

2 结果与分析

2.1 气泡幕的视觉特征

试验开启增氧机后,发现 PVC 管上的小孔产生一排连续独立的不规则球形气泡,形成气泡栅,气泡在上升过程中,外部压强减小,体积不断膨胀,相邻的气泡开始相互连接、混合,气泡栅慢慢转化成气泡墙(图 2)。不同孔距所产生的气泡幕视觉效果也不一样,孔距越大,气泡越稀疏,形成的气泡墙越小,水面的波动也越小。如果试验鱼感觉到前方是整片的视觉墙,就可能会产生较高的阻拦或是驱赶效果(乔云贵等,2011)。

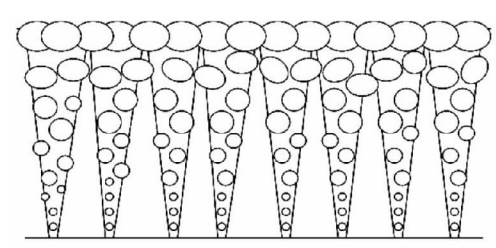


图 2 气泡幕示意

Fig. 2 Bubble curtains schematic diagram

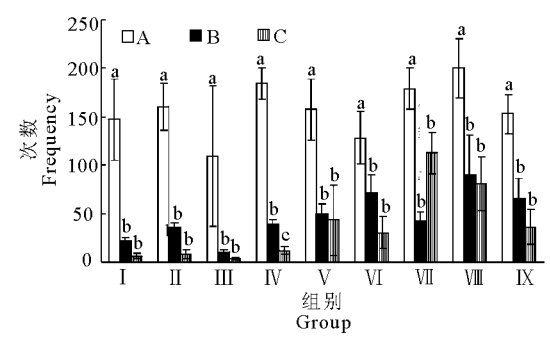
2.2 鱼类游泳行为观察

通过视频观察发现,在气泡幕开启前,试验鱼在水槽中为自由游动状态,其中花鲢的游泳速度为 (29.29 ± 8.68) cm/s, 白甲鱼为 (28.95 ± 8.32) cm/s;试验鱼频繁通过水槽中线,并且其游泳行为具有明显的集群现象。气泡幕形成后,位于 PVC 管附近的试验鱼会因受到惊吓迅速远离气泡幕游至水面相对静止的区域;气泡幕开启一会后,部分试验鱼会慢慢游向气泡幕,当靠近气泡幕时,试验鱼会立即改变方向远离气泡幕,有些可能会随环流上升到上层后再返回,还有些鱼是通过倒着游靠近气泡幕,当尾鳍接触到气泡幕后会迅速远离;且气泡幕产生后,鱼的集群行为发生变化,接近或通过气泡幕时很少会有集群现象。当试验鱼对气泡幕产生一定的适应后,会开始尝试穿越气泡幕,有时紧贴水槽壁通过,有时随上升流至表层后穿过气泡幕或是直接跳过,有时会从底部气泡栅缝间通过。试验鱼在通过气泡幕时的游泳速度一般都会比在没有气泡时的自由游泳速度快。

2.3 开启气泡前后通过中线次数的比较

花鲢在 9 种密度条件下,在开启气泡幕后尝试通过气泡幕的次数和通过气泡幕的次数与无气泡条件下通过中线的次数均存在显著性差异($P < 0.05$) (图 3)。白甲鱼在试验设计的 III (孔距 1.0 cm、孔

径 2.0 mm)、VIII (孔距 4.0 cm、孔径 1.5 mm) 和 IX 组 (孔距 4.0 cm、孔径 2.0 mm) 时,在开启气泡后通过气泡幕的次数和无气泡条件下通过中线的次数无显著性差异($P > 0.05$),但在其它 6 种密度下均存在显著性差异($P < 0.05$)。除密度 III (孔距 1.0 cm,孔径 1.0 mm) 外,白甲鱼在其他 8 种密度下,尝试通过气泡幕的次数与无气泡时通过中线的次数均存在显著性差异($P < 0.05$) (图 4)。



A. 无气泡时通过中线次数;B. 有气泡时尝试次数;C. 有气泡时通过中线次数;同一组中相同字母表示差异不显著,不同字母则表示差异显著($P < 0.05$)。

图 3 花鲢在气泡幕形成前后尝试通过和通过中线的次数

A. The frequency of crossing the midline no bubble curtains; B. The frequency of attempt to cross the midline with bubble curtains; C. The frequency of crossing the midline with bubble curtains. The same letters are of no significant difference in the same density ($P > 0.05$), those with different letters are of significant ($P < 0.05$).

Fig. 3 Frequency of Hemibarbus maculatus crossing and attempt to cross the midline before and after opening bubble curtains

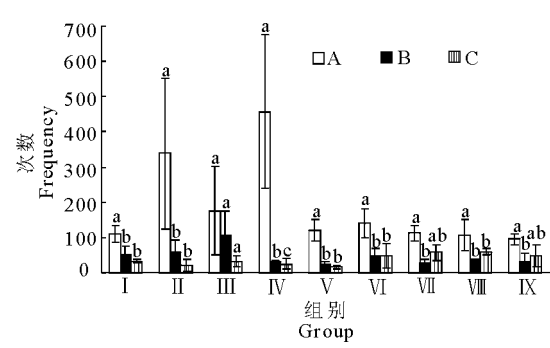


图 4 白甲鱼在气泡幕形成前后尝试通过和通过中线的次数

Fig. 4 Frequency of Onychostoma sima crossing and attempt to cross the midline before and after opening bubble curtains

2.4 鱼类行为对气泡幕的响应过程

花鲢试验 II 组 (孔距 1 cm,孔径 1.5 mm) 在所设时间内(40 min),每隔 10 min 通过气泡幕的次数随时间的延长有明显下降的趋势($P < 0.05$, $R^2 = 0.964$),在其它 8 种密度下,花鲢尝试通过和

通过气泡幕的次数二者与时间之间均无显著关系 ($P>0.05$),即花鲢在这8种密度下基本上是以相似的频率来回通过气泡幕(图4)。白甲鱼在40 min内,在密度I(孔距1.0 cm,孔径1.0 mm)、Ⅲ(孔距1.0 cm,孔径2.0 mm)和Ⅷ(孔距4.0 cm,孔径1.5 mm)尝试通过气泡幕的次数与时间之间存在显著相关性($P<0.05$),且都是随着时间的延长,尝试次数也随之上升。在密度Ⅲ(孔距1.0 cm,孔径2.0 mm)、Ⅳ(孔距2.5 cm,孔径1.0 mm)和Ⅸ(孔距4.0 cm,孔径2.0 mm)下,通过气泡幕的次数与时间之间存在显著相关性($P<0.05$),且都随着时间的增加,通过次数随之上升。

2.5 不同密度气泡幕对试验鱼阻拦率的比较

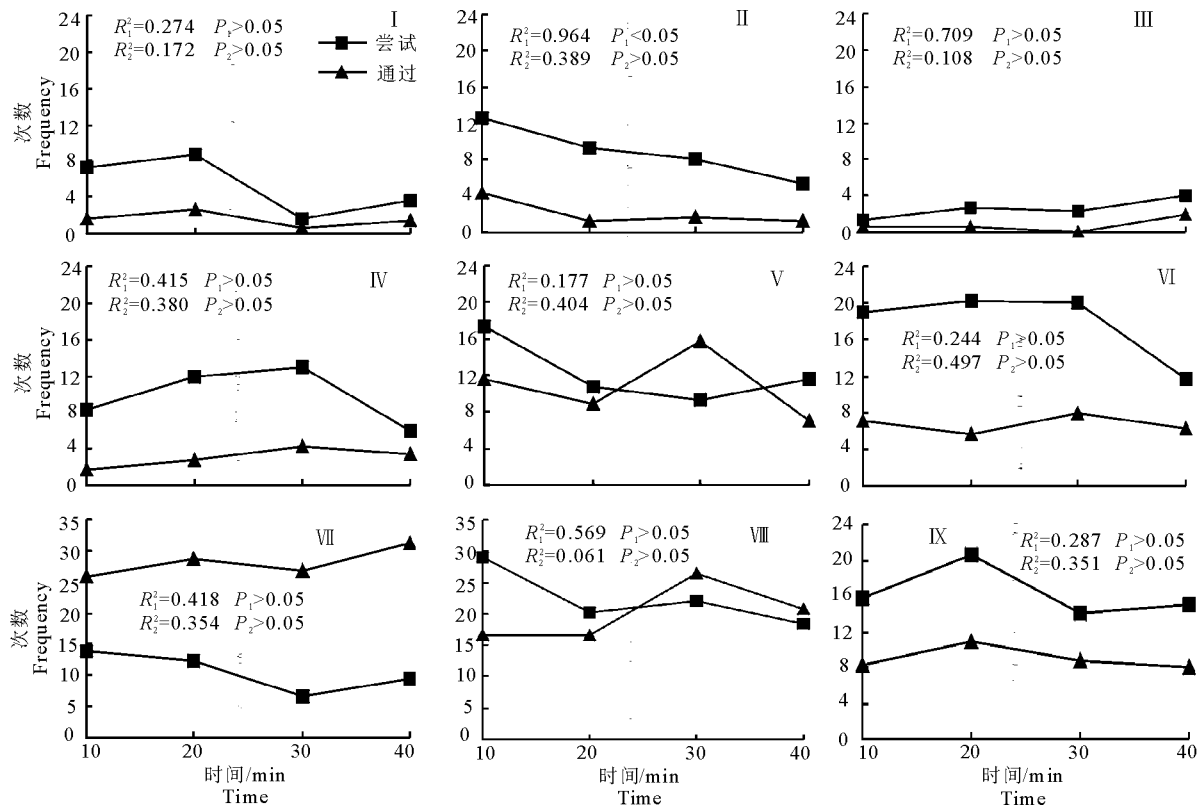
9种密度的气泡幕对花鲢和白甲鱼均有一定的阻拦作用,且阻拦效果之间存在显著性差异($P<0.05$)(表2),其中花鱼骨在第Ⅲ组(孔距1.0 cm,孔径2.0mm)时阻拦率呈最大值,在第Ⅶ组(孔距4.0 cm,孔径1.0 mm)时阻拦率呈最小值。

白甲鱼在第Ⅱ组(孔距1.0 cm,孔径1.5 mm)时阻拦率呈最大值,在第Ⅷ组(孔距4.0 cm,孔径1.5 mm)时阻拦率呈最小值。

3 讨论

3.1 气泡幕对鱼类造成阻拦效应的可能性原因

气泡幕对鱼类的阻拦或是驱赶作用还在进一步探讨之中,研究者指出鱼类对气泡幕的感觉主要通过视觉、听觉、侧线感觉和触觉等感知。视觉作用,即气泡产生后,在上升过程中,会形成一道帷幕(气泡墙),这在鱼的视野范围内将产生一种视觉刺激,形成一道视觉屏障,致使鱼远离气泡幕。本研究中,无气泡幕时,试验鱼频繁穿越中线;开启气泡幕后,试验鱼接近(包括尝试和通过)气泡幕的次数明显下降,说明气泡幕形成的视觉屏障对试验鱼产生了视觉刺激。侧线感觉,形成气泡幕的压缩空气从出气孔高速喷出时,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

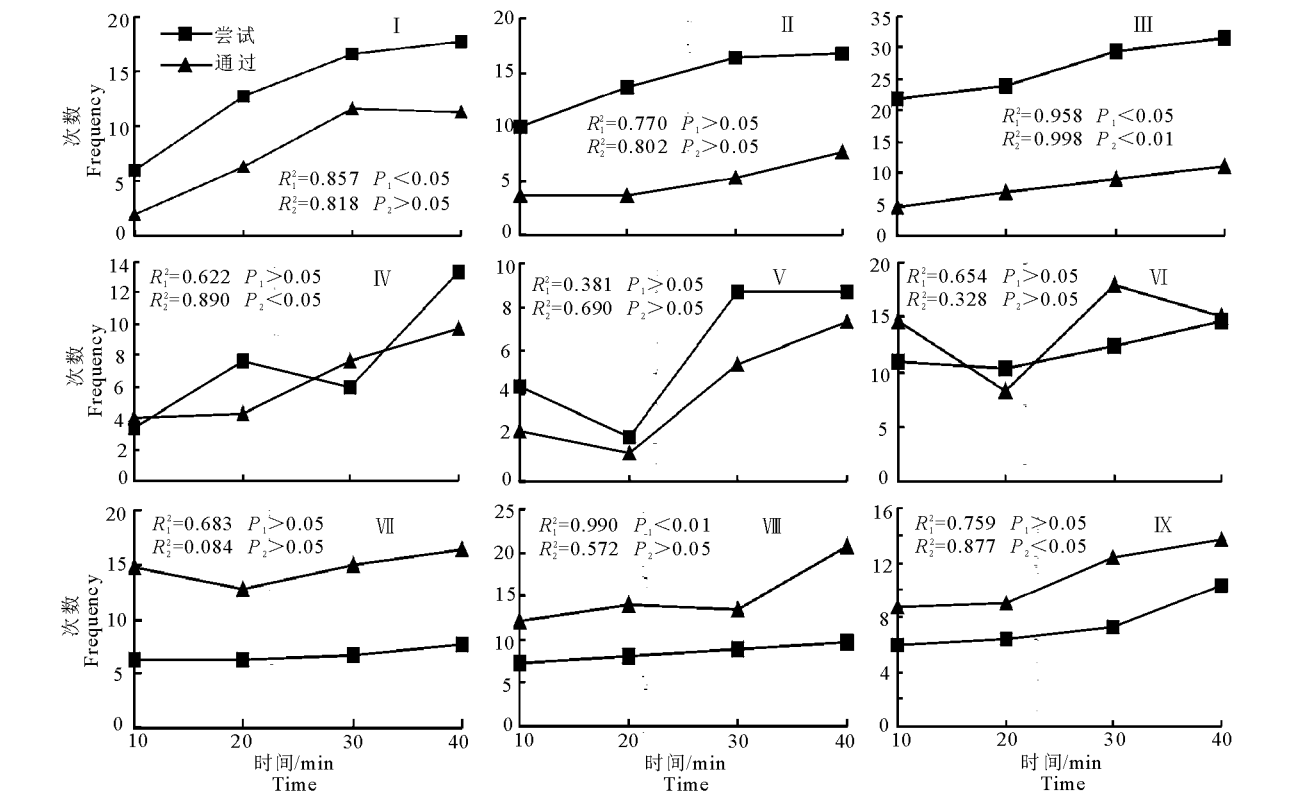


R^2_1, P_1 分别为尝试通过次数与时间的线性拟合度与相关性分析; R^2_2, P_2 分别为通过次数与时间的线性拟合度与相关性分析; $P<0.05$ 表示有显著相关性。

图5 花鲢在气泡幕形成后间隔10 min 尝试和通过中线的平均次数

R^2_1 and P_1 is the linearity and correlational analyses between frequency of attempting to cross midline and time; R^2_2 and P_2 is the linearity and correlational analyses between frequency of crossing midline and time, $P<0.05$ is significant correlation, the same below.

Fig.5 Frequency of *Hemibarbus maculatus* attempting to cross and crossing the midline for every 10 minutes after opening bubble curtains



R_1^2, P_1 分别为尝试通过次数与时间的线性拟合度与相关性分析; R_2^2, P_2 分别为通过次数与时间的线性拟合度与相关性分析; $P < 0.05$ 表示有显著相关性。

图 6 白甲鱼在气泡幕形成后间隔 10 min 尝试和通过中线的平均次数

R_1^2 and P_1 is the linearity and correlational analyses between frequency of attempting to cross midline and time; R_2^2 and P_2 is the linearity and correlational analyses between frequency of crossing midline and time, $P < 0.05$ is significant correlation, the same below.

Fig. 6 Frequency of *Onychostoma sima* attempting to cross and crossing the midline for every 10 minutes after opening bubble curtains

表 2 不同密度气泡幕的阻拦率

Tab.2 The intercepting rate of bubble curtains with different density %

鱼名	试验分组								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
白甲鱼	70.67 ± 10.60 ^{bc}	95.33 ± 3.06 ^c	70.67 ± 24.50 ^{bc}	93.00 ± 5.20 ^c	85.67 ± 7.51 ^c	69.00 ± 14.00 ^{bc}	49.67 ± 10.50 ^a	37.00 ± 24.98 ^{ab}	53.00 ± 24.06 ^{ab}
	95.00 ± 3.61 ^a	94.67 ± 3.06 ^a	96.00 ± 2.65 ^a	93.67 ± 1.53 ^a	72.67 ± 19.55 ^{ab}	73.67 ± 19.86 ^{ab}	36.33 ± 15.50 ^c	59.33 ± 14.98 ^b	75.33 ± 16.07 ^{ab}

注:表中不同上标表示不同密度之间差异显著性($P < 0.05$)。
Note:The different superscript letters in the same line mean significant difference between different density ($P < 0.05$).

(称为机械压力振动),这种振动会被鱼的侧线器官所感觉(乔云贵等,2011)。试验中,部分试验鱼在靠近气泡形成的环流圈时会逃避开,有些则是试图通过气泡幕,当其尾鳍接近气泡幕时也会迅速离开,这可能就是侧线感觉和触觉对试验鱼造成的刺激迫使其远离气泡幕。听觉作用,即以很大速度从管道小孔冲出的气流与水发生强烈地混合,小孔附近水流的运动具有环流特性,气泡在上升过程中会逐渐膨胀,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发生破碎,都将产生一定的

声响,这些声响可能会对鱼类造成惊吓而起到阻拦和驱赶的作用(黄朝禧,2009);但本次研究中,由于试验水槽建在全封闭室内且水体空间较小,因此听觉上的刺激作用对本试验结果的影响并不是很明显。

气泡幕对不同鱼类的阻拦和驱赶效果不一样(Akiyama et al,1991)。Takafum 等(1993)研究发现,在定制网中可以通过气泡幕对日本鯉(*Engraulis japonicus*)和真燕鲷(*Prognichthys agoos*)起到聚集作用;刘理东和何大仁(1988)指出,气泡幕对 5 种淡

水鱼的阻拦率并不一致(罗非鱼为53%、鲢44.6%、鳙27.6%、草鱼23.3%、鲫21.7%)。本次研究中,同一种密度的气泡幕对花鲢和白甲鱼的阻拦率也不一样,其中花鲢对气泡幕所造成的屏障适应时间更长些,而白甲鱼的适应时间相对短一些;因此,在研究气泡幕驱鱼技术时有必要针对不同鱼种分别开展研究。本次试验结果表明,所设的9种密度气泡幕对花鲢和白甲鱼的阻拦率最大时为 $(96.00 \pm 2.65)\%$ 和 $(95.33 \pm 3.06)\%$,说明气泡幕不会成为绝对的屏障,可能与试验条件有关,即取决于水体空间大小、水体浑浊度高低、孔间距等。Onitsuk等(2008)研究发现,在晚上或是浑浊度较高的水体中,气泡幕对宽鳍鳠(*Zacco platypus*)没有影响(Patrick et al, 1985)。阻拦效果也与气泡幕本身特征有关,即气泡幕没有威胁性刺激。当鱼接触到气泡幕后,并没发现气泡幕会对其生命安全造成威胁,就会有一些鱼尝试去穿越气泡幕(黄朝禧, 2009)。为了达到更好的阻拦与驱赶效果,可将气泡幕与声音导鱼、电导鱼和光导鱼等相关物理屏障技术结合使用。

3.2 气泡幕拦鱼的应用前景

在北盘江流域水能开发的背景下,本研究对受到水电开发影响的花鲢和白甲鱼开展了气泡幕的行为趋导研究。本研究表明,在实际应用如阻止花鲢和白甲鱼进入某个水域或驱赶至另外水域的过程中,气泡幕是可供选用的驱导技术,并推荐优选气泡幕特征为孔距1.0 cm、孔径1.5~2.0 mm,其实际应用效果将在下一步野外试验中验证改进。总之,探究气泡幕在鱼类行为中的运用,对保护鱼类资源、降低水域环境污染、无伤害提高渔获量和建设海洋牧场等均有重要意义。

参考文献

- 陈勇, 张沛东, 张硕, 等. 2002. 不同密度固定气泡对红鳍东方鲀的阻拦效果[J]. 大连水产学院学报, 17(3): 324-329.
- 刘理东, 何大仁. 1988. 五种淡水鱼对固定气泡幕反应初探[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 27(2): 214-219.
- 何大仁, 蔡厚华. 1998. 鱼类行为学[M]. 厦门: 厦门大学出版社.
- 黄朝禧. 2009. 渔业工程学[M]. 北京: 高等教育出版社.
- 乔云贵, 黄洪亮, 陈帅, 等. 2011. 气泡幕在鱼类行为研究中的应用[J]. 现代渔业信息, 26(12): 29-32.
- 赵锡光, 何大仁, 刘理东. 1997. 不同孔距固定气泡幕对黑鲷的阻拦效果[J]. 海洋与湖沼, 28(3): 285-293.
- 纵霄, 常理. 2008. 北盘江梯级水电站鱼类增殖放流站方案研究[J]. 水利发电, 34(7): 29-32.
- Akiyama S, Arimoto T, Inoue M. 1991. Fish herding effect by air bubble curtain in small scale experimental tank[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 57: 1301-1306.
- Onitsuka K, Akiyama J, Kobayashi T. 2008. Effects of transmitted Light and Bubbles in Open-channel Flows on Fish Behaviors[C]. Proceedings of 16th IAHR-APD Congress and 3rd Symposium of IAHR-ISHS, Nanjing, 447-452.
- Patrick P H, Christie A E, Sager D, et al. 1985. Responses of fish to a strobe light/air-bubble barrier[J]. Fisheries Research (Amsterdam), 3: 157-172.
- Rueda P A, Schrama J W, Verreth J A J. 2004. Behavioural responses under different feeding methods and light regimes of the African catfish (*Clarias gariepinus*) juveniles[J]. Aquaculture, 231: 347-359.
- Takafum A, Seiji A, Keiji K, et al. 1993. Fish-herding effect of an air bubble curtain and its application to setnet fisheries[J]. Fish Behavior in Relation to Fishing Operations, 196: 155-160.

(责任编辑 万月华)

Avoidance Responses of *Hemibarbus maculates* and *Onychostoma sima*
to Bubble Curtains with Different Density

BAI Yan-qin¹, LUO Jia¹, NIU Jun-tao¹, CHEN Qiu-wen¹, ZHU Hai-feng¹,
LIU De-fu¹, XU Yong¹, SHI Xiao-tao^{1,2}

- (1. Engineering Research Center of Eco-environment in Three Gorges Reservoir Region,
China Three Gorges University, Yichang 443002, P. R. China;
2. Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem,
Ministry of Water Resources, Wuhan 430079, P. R. China.)

Abstract: The avoidance responses of *Hemibarbus maculates* and *Onychostoma sima* from Beipan River to bubble curtains with different density were investigated under laboratory conditions. The density of bubble curtains consisted of air pressure, air-hole spacing and air-hole diameter. The air pressure of each bubble curtains was 14.7 kPa, air – hole spacing was 1.0 cm, 2.5 cm and 4.0 cm and air-hole diameter was 1.0 mm, 1.5 mm and 2.0 mm respectively. The result showed all of the nine bubble curtains have a certain degree of intercepting on *Hemibarbus maculates* and *Onychostoma sima*, and the bubble curtain with 1.0 cm air-hole spacing and 2.0 mm air-hole diameter had the best intercepting effects on *Hemibarbus maculates*, results a average intercepting rate at 96.00% ± 2.65%. The bubble curtain with 1.0 cm air-hole spacing and 1.5 mm air-hole diameter had the best intercepting effects on *Onychostoma sima*, results a average intercepting rate at 95.33% ± 3.06%. This research provided theory and technology reference for blocking fish by physical barriers technology.

Key words: bubble curtains; *Hemibarbus maculates*; *Onychostoma sima*; avoidance response