

# 不同孔距固定气泡幕对黑鲷的阻拦效果\*

赵锡光

何大仁 刘理东

(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, 在室内水池中观测孔径为0.5mm, 孔距分别为2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 20.0 cm 5种固定气泡幕的视觉特征和声学特征; 对其中孔距分别为5.0, 10.0和20.0 cm 3种气泡幕对黑鲷的阻拦作用予以重点分析研究, 以期探讨适合阻拦黑鲷的最适孔距。结果表明, 这3种气泡幕对黑鲷都具有明显的阻拦作用, 平均阻拦率分别为75.1%, 55.5%和54.5%; 其中, 以5.0 cm孔距的气泡幕阻拦效果最好, 与其他两种气泡幕的阻拦率差异极显著( $P < 0.01$ ), 而孔距为10.0 cm和20.0 cm气泡幕之间的阻拦效果无显著差异。该种鱼对3种气泡幕均无明显的适应现象。

**关键词** 气泡幕 孔距 阻拦效果 黑鲷

在形成气泡幕过程中产生的气泡流、声响、水流运动及振动对鱼类的视觉、听觉和侧线器官等都将产生刺激作用(Павлов et al., 1983), 气泡幕的密度决定着其阻拦效果, 而气泡幕的密度是由单位长度通气管上的孔数(即孔距)、压缩空气的压力以及出气孔的大小(孔径)等所决定(Павлов et al., 1983)。由于各种原因(如实验条件、实验对象——鱼种不同等), 不同研究者所提出的适宜出气孔孔径和孔距有很大出入(Kupfer et al., 1966; Smith, 1961; Кузнецов, 1968; Лексугкин et al., 1963; Павлов et al., 1983; Смыслов, 1963)。国内对某些淡水鱼进行了研究(刘理东等, 1988), 并报道了不同孔径气泡幕对黑鲷的阻拦作用(赵锡光等, 1989)。本文对室内5种不同孔距固定气泡幕的视觉特征及声学特征进行比较, 着重研究其中3种对黑鲷的阻拦效果, 以期探讨适合阻拦黑鲷的最适孔距, 并为在鱼类养殖、鱼类资源保护以及捕渔业中有效利用气泡幕提供科学依据。

## 1 材料与方法

黑鲷(*Sparus macrocephalus*)幼鱼, 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, 暂养于室内大水池1—2d。随机取正常个体25尾, 分成5组进行一种参数气泡幕实验。实验装置参照刘理东等(1988)。实验水池与观察室位于不同房间, 水池长3.5m、宽2.5m、深0.8m, 其四周用黑布围遮, 上方用日光灯照明, 中央水面照度为86 lx, 水中透明度大于3.5m。水池底部中线铺设一内径为17.5mm的灰色硬质塑料管, 管的上侧钻有一排直径0.5mm的小孔, 根据实验内容, 孔

\* 农牧渔业部资助项目, 1987。赵锡光, 男, 出生于1965年1月, 硕士, 讲师。

黄锡明、许肖梅同志帮助测声频, 特此志谢。

收稿日期: 1995年10月23日, 接受日期: 1997年1月15日。

距分别为 2.5cm, 5.0cm, 7.5cm, 10.0cm 和 20.0cm。由日本 A1301 型充气机产生  $0.25\text{kg}/\text{cm}^2$  的压缩空气, 通过橡胶软管从水底塑料管出气孔喷出, 在上升到水面的过程中, 即分别形成均匀的 5 种气泡幕, 用美国 HP-3582A 型自动频谱分析仪测定水池中央距气泡幕 20cm 处底层和表层的声谱。

随机取 5 尾状态正常的鱼放入实验水池适应 12—24h, 然后开始实验。实验分通气和不通气(对照)两部分配对进行, 各 1h。对照实验在通气实验之前或之后随机进行。每一组鱼均重复试验 3 次, 实验用过的鱼不再使用。通过日本 CC-1500 型低照度闭路电视系统观察鱼的行为, 并随时记录鱼通过气泡幕(或水池中线)的时刻和数量。实验数据输入微型计算机进行统计学处理并作图; 通过率和阻拦率的计算公式如下:

$$PR(\%) = \frac{NPA}{NPC} \times 100\%; \quad OR(\%) = (1 - PR) \times 100\%$$

式中,  $PR$ ,  $OR$ ,  $NPA$ ,  $NPC$  分别为通过率、阻拦率、1h 通气实验中鱼通过气泡幕的尾次数和 1h 对照实验中鱼通过通气管(或水池中线)的尾次数。

## 2 结果

### 2.1 气泡幕的视觉特征

观测表明, 在孔径为 0.5mm 时, 各孔距气泡幕所产生的视觉效果不同。当孔距为 5.0cm 时, 产生的气泡体积适中, 形成的气泡流分布均匀, 气泡幕俨然是一堵完整的气泡“墙”。当孔距小于 5.0cm(到 2.5cm)时, 此时各出气孔之间相距更近, 形成的气泡流更密了, 但观察中并未发现气泡在上升过程中有明显的合并现象, 此时的气泡流分布也很均匀, 气泡幕的“墙”效果同孔距 5.0cm 时相似。当孔距大于 5.0cm(至 7.5cm, 10.0cm)后, 产生的气泡流比较稀疏, 气泡流之间有很多无气泡区, 特别是靠近通气管(底层)处更明显, 这时的气泡幕不象是一堵“墙”, 倒很象是一个气泡“栅栏”; 当孔距达 20.0cm 时, 这种“栅栏”的效果就更明显了。

### 2.2 气泡幕的声学特征

5 种不同孔距气泡幕声谱见图 1。可以看出, 在同一孔径(0.5mm)下, 其频谱有相似的趋势, 在各种气泡幕的底层或表层测得的声谱中, 均有两个声压峰, 一个位于 1kHz 以下的低频区, 另一个位于 3—9kHz 高频区, 低频区的峰比较“窄”, 高频区的峰较“宽”; 声谱中最大声压峰值位于 1kHz 以下低频区, 而高频区的声压较低, 特别是 15kHz 以上频率区; 同种气泡幕由表层测得声谱的声压明显比由底层测得的声压低。

由于各种气泡幕的孔距不同, 产生的声学特征也存在一些差异。由底层测得的声谱中(图 1b), 其声压峰值(最大值)各不相同: 在 1 kHz 以下低频区, 孔距为 7.5cm 气泡幕的声压最高; 孔距小于 7.5cm(到 5.0cm, 2.5cm)时, 声压下降, 其中, 孔距为 5.0cm 气泡幕的声压下降较多; 当孔距大于 7.5cm(至 10.0cm, 20.0cm)时, 声压渐次下降。随着孔距由 2.5cm 增至 20.0cm, 低频区的声压峰由“窄”变“宽”, 并有向较高频率转移的趋势, 但声压峰仍位于 1kHz 以下频率区。在 3—9kHz 频率区, 孔距为 10.0cm 气泡幕的声压最高; 孔距小于 10.0cm 时, 随着孔距的增大(从 2.5cm 增至 10.0cm), 声压渐次提高; 当孔距大于 10.0cm(至 20.0cm)后, 声压又开始下降。由表层测得的声谱中(图 1a), 在 1kHz 以下低频区, 孔距为 5.0cm 气泡幕的声压峰值(最大值)最高; 孔距小于 5.0cm(到 2.5cm)时, 声

压下降; 当孔距大于 5.0cm 时, 随着孔距的增大(从 7.5cm 增至 20.0cm), 声压也渐次下降, 其中, 孔距为 10.0cm 和 20.0cm 气泡幕的声压下降较多。在 3—9kHz 频率区, 随着孔距的增大(从 2.5cm 增至 10.0cm), 声压渐次提高, 当孔距大于 10.0cm(至 20.0cm) 时, 又开始下降。

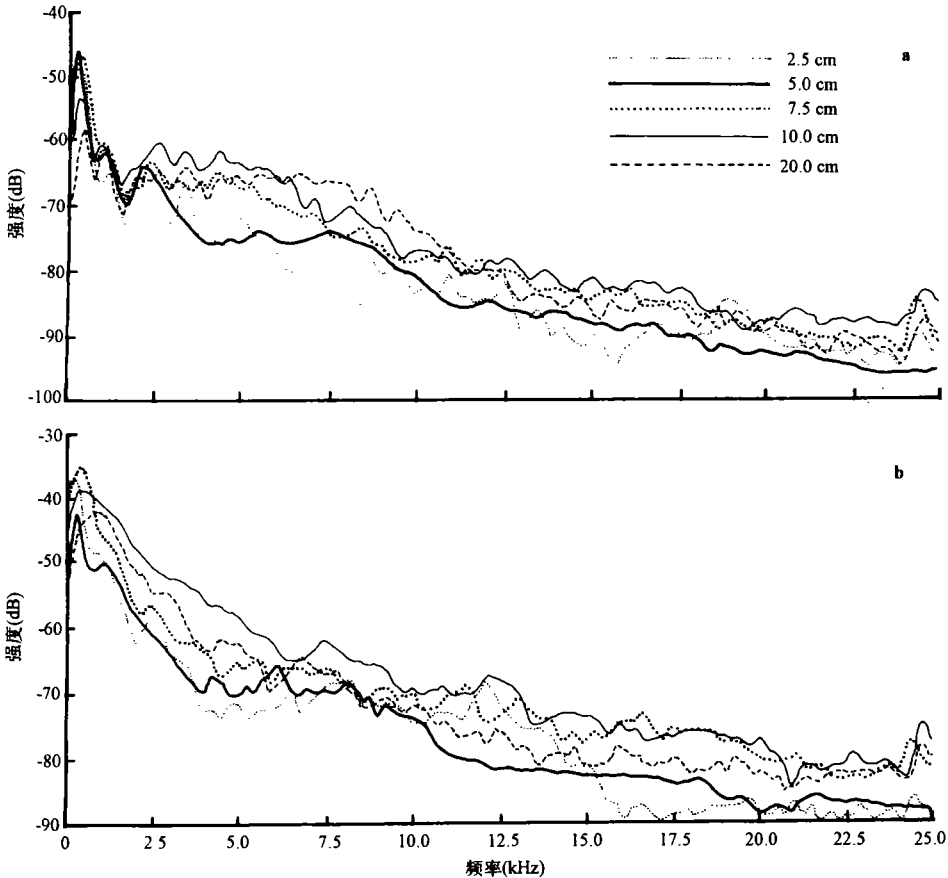


图 1 不同孔距气泡幕声谱图(a. 表层, b. 底层)

Fig.1 Acoustic frequency spectrum of bubble curtain with different air-hole spacing  
(a. Surface, b. Bottom)

由图 1 还可以看出, 表层和底层测得的声谱中, 孔距为 5.0cm 气泡幕的声压在 3—6 kHz 频率区, 均明显低于孔距为 10.0cm 和 20.0cm 气泡幕的声压。

### 2.3 气泡幕形成前后黑鲷的行为

观察表明, 3 种孔距(5.0cm, 10.0cm, 20.0cm)气泡幕的对照实验中, 鱼的行为基本一致, 集群明显, 游动活泼, 频繁穿越水池中线, 但因不同次实验, 穿越水池中线的次数有所不同。1h 通过水池中线的平均尾次数分别是: 孔距为 5.0cm 时, 448 次; 10.0cm 时, 715 次; 20.0 cm 时, 314 次。未发现通气管对鱼的行为有明显影响。当气泡幕形成后, 1h 通过气泡幕的平均尾次数分别是: 孔距为 5.0cm 时, 117 次; 10.0cm 时, 304 次; 20.0cm 时, 144 次。鱼的行为也发生明显变化, 但 3 种气泡幕下, 鱼的游泳行为基

本上是一致的, 表现为通气过程中, 有明显的惊慌不安现象, 体现在急速游动, 游速明显比对照实验时快; 有时在气泡幕两侧四处游动, 有时快速穿越气泡幕进入对侧。

#### 2.4 不同孔距气泡幕对黑鲷阻拦作用的比较

实验表明, 对照实验时, 每 10min 鱼通过水池中线的平均尾次数在不同孔距实验中有所不同; 气泡幕形成以后, 每 10min 鱼通过水池中线(气泡幕)的尾次数都明显下降, 表明 3 种气泡幕对黑鲷都具有明显的阻拦作用。见表 1。

3 种气泡幕的阻拦率经单因素方差分析得  $F=11.65 > F_{0.01}(2,42)$ , 表明三者对黑鲷的阻拦作用差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 以孔距 5.0cm 的阻拦效果为最好。经 Duncan 多范围检验

表 1 通气实验和对照实验中相应 10min 鱼通过气泡幕(或通气管)的平均尾次数

Tab.1 Average number of fish passing through the bubble curtain (or the air pipe) for a ten-minute period in aeration and control experiment

孔距 (cm)	实验	时 间 (min)					
		0—10	11—20	21—30	31—40	41—50	51—60
5.0	通气	19	20	20	22	18	17
	对照	83	81	76	67	71	70
10.0	通气	39	52	52	58	54	50
	对照	133	124	118	114	110	116
20.0	通气	22	20	27	25	25	25
	对照	56	53	50	53	49	53

表 2 3 种孔距气泡幕对黑鲷平均阻拦率的差数比较

Tab.2 Comparisons on differences among the average obstructing rates of three air-hole spacing bubble curtains to *S. macrocephalus*

孔距 (cm)	平均阻拦率 (%)	$\bar{X} - 54.5$	$\bar{X} - 55.5$
5.0	75.1	20.6 <sup>1)</sup> (k=3)	19.6 <sup>1)</sup> (k=2)
10.0	55.5	1.0 (k=2)	
20.0	54.5		

1) 差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

并开始逐渐游近气泡幕。从开始通气到鱼第一次穿过气泡幕的时间间隔因出气孔孔距不同长短稍有不同(表 3), 但无显著差异 ( $F=1.25 < F_{0.05}(2,42)$ )。这短暂的时间之后, 便有鱼经多次的尝试, 开始穿过气泡幕。在这以后的整个 1h 通气过程中, 无论是何种孔距的气泡幕, 黑鲷基本上以相似的频率来回通过气泡幕(表 4), 即无论是哪一种孔距的气泡幕, 在通气过程中, 鱼都是均匀地通过气泡幕。表 4 显示, 10min 通过气泡幕的平均尾次数, 孔距为 20.0cm 和 10.0cm 的都比孔距为 5.0cm 的高; 同时, 孔距为 20.0cm 和 10.0cm, 最初 10min 通过气泡幕的平均百分率(每 10min 通过气泡幕的百分率是指通气

表明, 孔距为 5.0cm 气泡幕的阻拦率显著高于其余两种, 其间的差异达到极显著水平 ( $P < 0.01$ ), 而 10.0cm 和 20.0cm 孔距气泡幕的阻拦率间无显著差异。见表 2。

#### 2.5 气泡幕作用下黑鲷游泳行为的时程变化

观察表明, 黑鲷在气泡幕形成的最初阶段, 不敢穿过气泡幕, 此时, 3 种气泡幕对其都具有绝对的阻拦作用。这期间, 鱼起初在远离气泡幕区或在水池角落附近静止不动, 继而在气泡幕两侧开始游动,

表 3 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.3 The time interval (min) between the beginning of aeration and the first fish's passing through the bubble curtain in aeration experiment

孔距 (cm)	实验	组 别					平均值
		1	2	3	4	5	
5.0	1st	1	6	3	4	1	3.0
	2nd	3	2	2	1	1	1.8
	3rd	3	2	4	1	3	2.6
10.0	1st	1	2	1	1	1	1.2
	2nd	2	1	1	2	1	1.4
	3rd	1	5	6	1	2	3.0
20.0	1st	1	1	4	3	2	2.2
	2nd	1	1	5	3	3	2.6
	3rd	3	1	2	4	9	3.8

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 bubble curtain for each ten-minute period in aeration experiment

孔距 (cm)	时 间 (min)					
	0—10	11—20	21—30	31—40	41—50	51—60
5.0	19	20	20	22	18	17
	21.2%	16.5%	15.1%	18.9%	15.1%	13.3%
10.0	39	52	52	58	54	50
	13.3%	16.6%	16.9%	18.9%	18.0%	16.3%
20.0	22	20	27	25	25	25
	14.2%	14.5%	18.7%	17.2%	16.9%	18.5%

实验中, 每 10min 通过气泡幕的尾次数与 1h 通气实验中通过气泡幕的总尾次数之比的百分率) 都比后 50min 的低, 而孔距为 5.0cm 时, 恰好相反。可见, 不同孔距气泡幕作用下, 黑鲷所表现出的行为不尽相同。

## 2.6 黑鲷对 3 种孔距气泡幕适应情况

重复实验表明, 5.0cm 和 10.0cm 两种孔距气泡幕对黑鲷的平均阻拦率皆是第一次 < 第二次 < 第三次; 孔距为 20.0cm 时, 虽然第一次的平均阻拦率比后两次高, 但

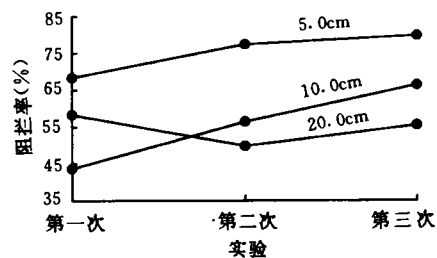


图 2 3 种孔距气泡幕对黑鲷重复实验的平均阻拦率  
Fig.2 Average obstructing rate of three air-hole spacing bubble curtains to *S. macrocephalus* in repeated experiments

相差不大(图 2)。表 3 表明,从开始通气到鱼第一次通过气泡幕的平均时间间隔,当孔距为 10.0cm 和 20.0cm 时,皆是第一次 < 第二次 < 第三次;虽然孔距为 5.0cm 时,第一次比后两次稍长,但相差无几。表 4 也显示,无论何种孔距气泡幕,在整个通气过程中,黑鲷基本上以相似的频率来回通过气泡幕。可见,黑鲷对这 3 种孔距气泡幕均无明显适应现象。

### 3 讨论与结论

**3.1 不同孔距气泡幕产生的视觉效果不同。**孔距为 5.0cm 气泡幕象是一堵完整的气泡“墙”;当孔距缩小到 2.5cm 时,形成的气泡流更密,但气泡幕的“墙”效果同孔距 5.0cm 时相似;当孔距大于 5.0cm(至 7.5cm, 10.0cm, 20.0cm)后,随着孔距的增大,产生的气泡流稀疏,气泡流之间有很多无气泡区,气泡幕象是一个气泡“栅栏”,其“墙”效果下降。

**3.2 各种孔距气泡幕的声谱中,表层的声压明显比底层的低;均有两个声压峰,一个位于 1kHz 以下低频区,另一个位于 3—9kHz 高频区;声谱中最大声压峰位于 1kHz 以下低频区。**5 种气泡幕中,1kHz 以下频率区声压峰的声压和 3—9 kHz 频率区声压峰的声压与孔距不呈线性关系,而是随着孔距的增大或减小,两个频率区声压峰的声压都下降。Куэнецов(1969)的实验也发现,当形成气泡幕的出气孔彼此靠近或远离时,3—6kHz 频率区的声压峰值会急剧下降。

**3.3 3 种孔距气泡幕对黑鲷都具有较高的阻拦率,但都不是绝对的障碍。**这除了与实验条件(水体空间有限)有关外,也与气泡幕本身的特性有关。气泡幕形成后,对鱼的感觉器官(视觉、听觉和侧线器官等)产生刺激作用,鱼出现惊恐,但由于受水池空间限制,找不到一个较“安全”的区域,所以不得穿越气泡幕(刘理东等,1988),而气泡幕本身又不会对鱼产生伤害,这就使得气泡幕不成为绝对的障碍。如果在自然水域,鱼群密度又不高的情况下,鱼很容易找到一个较“安全”的区域,可能会远离气泡幕。

**3.4 出气孔孔径相同,孔距不同的 3 种气泡幕对黑鲷都具有较高的阻拦作用,但阻拦效果存在明显差异,其中,孔距为 5.0cm 气泡幕的阻拦率最高。**一方面,这可能与气泡幕的视觉作用有关。当出气孔孔距为 5.0cm 时,形成的气泡幕象是一堵均匀的气泡“墙”,对鱼来说是一堵视觉屏障;当孔距增至 10.0 cm 和 20.0 cm 时,气泡流比较稀疏,气泡流之间有很多无气泡区,气泡幕的视觉屏障作用被大大削弱,鱼可以从无气泡区通过,导致阻拦效果下降。Павлюв 等(1983)指出,只有当气泡幕被鱼感觉到是整片的视觉墙时,方能产生较高的驱赶效果。另一方面,3 种不同孔距气泡幕对黑鲷阻拦效果的差异可能还与它们对黑鲷听觉刺激的差异有关。鱼的听觉在很远处就能感知气泡幕的存在。本实验测得的气泡幕表层和底层声谱中,孔距为 10.0cm 和 20.0cm 气泡幕的声压在 3—6kHz 频率区均明显高于孔距为 5.0cm 气泡幕的声压。孔距增大(至 10cm, 20cm)后,3—6 kHz 频率区的声压提高,对鱼的听觉刺激作用增大,使鱼更加惊慌,而此时由于受实验水池空间的限制,鱼无法远离气泡幕,只得在池中来回乱窜,刚好此时的气泡幕中有很多无气泡区,从视觉上对鱼的阻拦作用降低,进而导致孔距增大后气泡幕的阻拦率下降。如果是在大水域中进行气泡幕实验,当鱼受到不适宜的声刺激后,可以远离气泡幕,情况可能会有所不同。Куэнецов(1969)在海中对鲑及塞拉竹刀鱼进行实验后认为,气泡幕的阻拦效果同频率为 3—6kHz 的声压振幅大小呈线性关系。

3.5 孔距为 5.0cm 的气泡幕的阻拦效果显著高于孔距为 10.0cm 和 20.0cm。各国学者在探讨形成气泡幕的最适孔距时,得到不同的结果。他们认为,建立合适的气泡幕孔距分别是 30.5cm (Smith, 1961), 15.2cm (Kupfer et al., 1966), 10.0cm (Смыслов, 1963)。Кузнецов (1968) 的结果是 30 — 40cm。而 Лексукин 等 (1963) 认为适宜的孔距为 4.0cm。Павлов 等 (1983) 把孔距 0.5cm 和 1.2cm 进行比较,认为孔距 0.5cm 效果更好。所得出的最适孔距有如此大的差别,可能与实验条件及实验对象——鱼种不同有关,也与鱼能看到气泡幕的最大距离有关,而这本身又同鱼的视觉能力及进行实验的水环境透明度有关。Smith (1961) 是在透明度很高的港湾中进行观察,本实验水池中透明度很高,大于 3.5m,鱼在水池中任何位置都能看到气泡幕的存在。Павлов 等 (1983) 是在透明度低于 20cm 的水中对小赤梢鱼进行实验。

3.6 黑鲷对 3 种孔距气泡幕均无明显的适应现象,作者 1989 年的报道与之一致,但同某些淡水鱼具有适应性明显不同(刘理东等, 1988; Mohr, 1960),可能主要与鱼的生活习性有关,淡水鱼生活的环境相对来说不稳定,易受外界干扰,这使得其对外界的干扰比较容易适应,而海洋环境相对于淡水比较稳定。

### 参 考 文 献

- 刘理东、何大仁, 1988, 厦门大学学报自然科学版, 27: 214 — 219.  
赵锡光、何大仁、刘理东, 1989, 厦门大学学报自然科学版, 28: 83 — 87.  
Kupfer, G. A. & W. G., Gordon, 1966, *Com. Fish. Rev.*, 28(9): 1 — 9.  
Smith, K. A., 1961, *Com. Fish. Rev.*, 23(3): 1 — 14.  
Mohr, H., 1960, *Protokolle zur Fischereitechnik*, 30(7): 121 — 129.  
Кузнецов, Ю. А., 1968, *Рыбное хозяйство*, 2: 48 — 50.  
Кузнецов, Ю. А., 1969, *Рыбное хозяйство*, 10: 48 — 50.  
Лексукин, А. Ф., Соколов, И. М., 1963, *Сб. НТИ вниро*, 6: 38 — 53.  
Павлов, Д. С., Пахоруков, А. М., 1983, *Биологические основы защиты рыб от попадания в водозаборные сооружения*, Лекая и Пищевая Промышленность (Москва), 125 — 132.  
Смыслов, И. Г., 1963, *Сб. НТИ Вниро*, 3: 110.

# THE INTERCEPTING EFFECTS OF BUBBLE CURTAINS WITH DIFFERENT AIR-HOLE SPACING ON *SPARUS MACROCEPHALUS*

Zhao Xiguang

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

He Daren, Liu Lidong

(Department of Oceanography, Xiamen University, Xiamen 361005)

**Abstract** In order to investigate the intercepting effects of immovable bubble curtains (IBC) with different air-hole spacing on black porgy (*Sparus macrocephalus*), indoor experiments were conducted from 1987 to 1988. The visual and acoustic characteristics of IBC with a 0.5mm air-hole diameter and different air-hole spacing were recorded, described and analyzed. The air-hole spacing of each IBC was 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 and 20.0 cm and only the intercepting effects of the IBC with 5.0, 10.0 and 20.0 cm air-hole spacing on the fish were studied. The IBC were constructed from a hard polyethylene pipe (17.5 mm i.d.), fixed on the bottom middle of an experimental tank, from which columns of bubbles escaped through a series of holes (0.5 mm, i.d.) located on the upper side of the pipe at regular intervals. Compressed air with 0.25 kg/cm<sup>2</sup> was supplied by a compressor (Model: A1301, Japan). The acoustic frequency spectra of bubble curtains on the bottom and on the surface were recorded using a HP-3582A spectrum analyzer at 20 cm from the central bubble curtain. The experimental tank (3.5 m long, 2.5 m wide, and 0.8 m deep), filled with seawater with 3.5 m diaphaneity, was surrounded with black cloth. The tank top was uniformly illuminated with fluorescent lamps giving 86 lx on the central surface. The experimental fish, 8.0—13.5 cm in body-length, were 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 in each IBC experiment. The five selected fish were put in the experimental tank and allowed to acclimate the new environment for 12—24 h prior to test. Each experiment was carried out by dividing into two testing sections, the aeration experiment and the control experiment (no IBC). The observation period of each section was 1 h. The control experiment was performed randomly before or after the aeration experiment. Three replicates were successively carried out for each fish group. For all the experiments, the behaviors of fish were recorded with a CC-1500 television camera mounted over the tank and a



video-tape, for subsequent analysis. The time at which fish passed through the bubble curtain or the air pipe and the number of passage were registered readily. The IBC appear to be a bubble wall when the air-hole spacing is 5.0 cm or 2.5 cm. The bubble columns of IBC were distributed uniformly. When the air-hole spacing increases to 7.5 cm, 10.0 cm or 20.0 cm, the IBC appear to be a bubble barrier, rather than a bubble wall, and the bubble columns of IBC became sparse. In all acoustic frequency spectrums of these five IBC, either recorded in surface or bottom, there were two acoustic pressure peaks, one in low frequency area (below 1 kHz), and the other in high frequency area (3—9kHz). The acoustic pressure of IBC recorded in surface was lower than that in bottom. The acoustic pressure both in the low and high frequency areas dropped with the decrease or increase in air-hole spacing. In the 1 h control experiment, the average numbers of passage through the air pipe were 448, 715, 314 for 5.0, 10.0 and 20.0cm, respectively. Fish behavior changed distinctly since IBC existed. Their swimming became faster than that in the control experiment and average numbers of passage through the bubble curtain in 1 h aeration experiment decreased to 117, 304, 114 for 5.0, 10.0 and 20.0 cm, respectively. Significant intercepting effects of these three IBC on the fish behaviors were observed, but these IBC were not complete obstacles to black porgy. The average obstructing rates were 75.1%, 55.5% and 54.5% for 5.0, 10.0 and 20.0 cm air-hole spacing, respectively. The results demonstrate that the intercepting effects of IBC are affected significantly by the air-hole spacing. There are significant differences between the obstructing rate of 5.0 cm IBC and that of 10.0 cm or 20.0 cm ( $P < 0.01$ ). However, there is no significant difference between 10.0 cm and 20.0 cm ( $P > 0.05$ ). In addition, black porgy has no marked adaptation to these IBC.

**Key words** Bubble curtain Air-hole spacing Intercepting effect *Sparus macrocephalus*