DOI:10.3969/j.issn.1007-9580.2016.06.011

气泡幕对许氏平鲉的阻拦效果研究

黄六一[1],陈 婧[1],李 龙[1],黄洪亮[2],唐衍力[1],孙旋旋[1],
房 璐[1],李玉岩[1],张宗航[1],张文慧[1]
(1 中国海洋大学水产学院,山东 青岛 266003;
2 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室,上海 200090)

摘要:气泡幕可作为海洋牧场鱼群控制的技术手段之一。本研究通过改变气泡幕在水槽中的相对位置和试验许氏平鲉(*Sebastes schlegeli*)的密度来观察许氏平鲉的行为反应,运用了观察法、对照试验法和控制变量法探究了气泡幕对不同密度下的许氏平鲉的阻拦效果。结果显示:1)试验鱼 20 尾时,气泡幕的位置分别设置在矩形水槽长的 1/4、1/2 和 3/4 处(鱼的密度为 12.52、6.26、4.17 尾/m^2),阻拦率分别达到了 98.2%、88.4% 和 92.9%,阻拦效果明显。2)气泡幕设置在水槽长度方向的 1/2 处,试验鱼分别为 5 尾、10 尾、15 尾和 20 尾时,气泡幕阻拦率分别达到了 100%、85.7%、100%和 88.4%(鱼群密度分别为 1.56、3.12、4.69、6.26 尾/m^2),阻拦效果良好。3)由于阻拦率较高,试验鱼群密度和阻拦效率没有明显的关系。本研究结果可为我国投放许氏平鲉的海洋牧场鱼群控制技术以及取水口拦鱼技术提供参考。

关键词:气泡幕;许氏平鲉;阻拦率;海洋牧场
中图分类号:S957.9 **文献标志码**:A **文章编号**:1007-9580(2016)06-055-06

随着海洋渔业捕捞强度的提高,渔业资源日益衰减,而人类对海洋渔业资源的需求却越来越大。近些年来,一些渔业发达的国家和地区逐渐开始了海洋牧场的建设与研究。海洋牧场的一项重要技术就是鱼群行动控制技术,通过该技术确保鱼类能够在一定时期内在特定的区域生息而不外逃。另外,一些火电和核电企业一般采用泵站从海域中抽取大量海水对机组进行冷却,需要采取一些技术手段阻拦鱼类等进入取水口,以确保不损害海域资源。传统技术手段是用渔网阻拦,但它有无法克服的缺陷。为此,研究人员开发了一些新的技术,如光控、电控、声控、气泡幕等。20 世纪 30 年代国外学者就开始研究气泡幕,并试用于渔业生产和鱼类资源保护,其后,国内外相关学者在试验室以及野外对这一设想进行了验证。总体结论是,当鱼群靠近气泡幕时,由于气泡幕在鱼类眼中形成一道气泡墙,阻碍鱼类前行,同时气泡上升振动发声,在视觉和听觉的共同作用下将鱼群吓走。但对于某些具体鱼种,在阻拦效率、适应反应等方面又呈现一些不同的特点和变化[1-6]。

国内外在气泡幕对鱼类的影响已有较多的研究:刘理东等[1]研究了气泡幕对 5 种淡水鱼的阻拦效果;赵锡光等[3]研究表明不同气泡幕密度的孔距、孔径等对黑鲷、青石斑鱼产生不同的阻拦作用;陈勇等[6]研究发现不同密度固定气泡幕对红鳍东方鲀的阻拦效果平均达到 71%;Stewart[7]的海上网箱试验表明,气泡幕能制约绿鳕和隆头鱼的行动,但对比目鱼(高眼鲽、油鲽和鲽鱼)的阻拦效果较差;Sager 等[8]在试验室的试验表明美洲狼鲈、斑点黄花鱼和脂背鲱均无法躲避气泡幕;Kouki Onitsuka 等[9]研究发现在气泡入射低于一定速度的情况下气泡幕没有对宽鳍鱲的行为产生显著影响;Zielinski 等[10]的研究试验表明空间布局越复杂的气泡幕对鲤鱼阻拦效果越好。Kiyama 等[11]研究发现,气泡幕对日本鳀(*Wngraulis japomicus*)和真燕鳐(*Prognichthys agooz*)能产生聚集作用;Zielinski[12]在野外实地设计的气泡幕

收稿日期:2016-09-15 **修回日期**:2016-11-29
基金项目:公益性项目(农业)行业专项(201203018);农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点试验室开放课题(2014K05);中国海洋大学本科生训练计划项目(1112010616)
作者简介:黄六一(1970—),男,教授,研究方向:增殖养殖工程。E-mail:huangly@ ouc.edu.cn

阻拦效果与试验室一致。综上,鱼类对气泡幕的反应并不一致,根据环境条件以及鱼群状况有所改变。总之,研究气泡幕在鱼类行为中的应用,对渔业资源养护、减少环境污染、提高渔获量、建设海洋牧场和减少港口噪音等都具有重要意义[13-14]。随着计算机技术、水下摄影技术、高性能光学及声学设备的应用,气泡幕的研究方法也会越来越多[15-16]。

许氏平鲉(*Sebastes schlegeli*),又称"黑鲩"、"黑头鱼",是温水性底层鱼类,常栖息于近海岸礁海区,为中国北方常见种,分布于北太平洋西部,中国产于东海、黄海和渤海,是人工鱼礁进行资源增殖和网箱养殖的理想种类[17-18]。国内在许氏平鲉对气泡幕反应方面的研究,特别是不同密度鱼群或气泡幕距离鱼群位置对阻拦效果的影响鲜有报道。本研究通过改变气泡幕装置在水槽中的相对位置和增减许氏平鲉个体数量来观察许氏平鲉的行为反应,探讨气泡幕对不同密度的许氏平鲉鱼群的阻拦效果,研究结果可为海洋牧场鱼群控制和一些取水口鱼群气泡幕阻拦鱼类装备的设计和布设提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

试验所用许氏平鲉于2014年11月份分3次购自青岛小港水产品市场,每次购进7条,全长104~146 mm,平均全长123 mm,平均体重29.44 g。试验期间许氏平鲉暂养于室内圆形水槽。

1.2 试验装置

中国海洋大学水产学院鱼类音响驯化试验水槽(白色),长3.40 m,宽1.88 m,试验水深0.44 m。试验室保持均匀光照,水面光强在20~80 Lx之间,水温15.0~17.0℃。在水槽底部中央铺设一根与水槽等宽的白色硬质塑料管,内径2 cm,在塑料管上均匀打孔,孔距2 cm,孔径1 mm,两端密封,将国产"海平面"牌ACO-009B型号电磁式充气泵(功率185 W,排气量105 L/min)通过橡胶管与气泡管中部连接并充气。

1.3 试验方法

试验过程中采用的研究方法有观察法、对照试验法和控制变量法。每次观察时在观察室利用摄像监控设备进行观察试验,并用生物统计的方法对统计数据进行分析,每组试验重复3次,采用3次试验的平均值。试验项目:(1)对相同数量的鱼,测试气泡幕摆放在试验水槽不同位置对鱼的阻拦状况的差异。通气管分别放在水槽长度方向的1/4 L、1/2 L和3/4 L处,距离水槽左端距离分别为0.85 m、1.70 m、2.55 m(图1)。

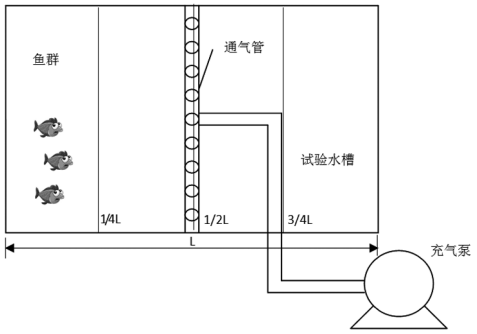

图1 试验装置示意图

Fig.1 Installation of experiment

随机选取20条鱼(鱼群的密度分别为12.52、6.26、4.17尾/m^2)。观察鱼在空白试验和通气试验中通过气泡幕的次数,每次试验进行1 h,观察并记录每10 min穿过圆管上方的鱼数量。(2)将通气管放在水槽长度方向的1/2 L,测试气泡幕对不同数量的鱼阻拦效果。随机选取5、10、15、20尾鱼进行试验,对应的鱼群密度分别为1.56、3.12、4.69、6.26尾/m^2。观察鱼在空白试验和通气试验中通过气泡幕的次数,每次试验进行1h观察并记录每10 min穿过通气管上方的鱼的尾次数。

通过率和阻拦率的计算公式[3]:

$$f_{PR} = (N_{PA}/N_{PC}) \times 100\% \quad (1)$$

$$f_{OR} = (1 - f_{PR}) \times 100\% \quad (2)$$

式中:f_{PR}—通过率,%;f_{OR}—阻拦率,%;N_{PA}—1 h通气试验中鱼通过气泡幕的尾次数,次;N_{PC}—1h空白试验中鱼通过气泡管的尾次数,次。

2 结果与分析

2.1 行为描述

空白试验中,许氏平鲉自由地在水槽中游动,多在水槽底部活动,有较强的集群性,常有相互追逐的现象,也常聚集于水槽的边角处作时间不等的停留。水槽底部的塑料管对许氏平鲉的活动没

有明显的影响,它们或集群或单独穿过塑料管上方,有时会在塑料管旁边停留一段时间。新一批的鱼比已经暂养的鱼活跃,表现出很强的游动能力。

气泡幕试验时,许氏平鲉的行为表现出明显的不同。开始通气后,许氏平鲉均表现出不同程度的惊恐状态,游动速度明显加快,多沿水槽边快速来回游动,有时快速冲向气泡幕,但在接近气泡幕前即减速停止,然后调头回游。气泡幕刚形成时鱼类的行为与气泡幕对大泷六线鱼的阻拦效果相似[19],随着时间的推移,会有一条鱼率先穿过气泡幕,这时常会有其他鱼随之穿越气泡幕,有时一条鱼在首次穿过气泡幕后没有其它鱼随之穿过,该鱼在另一侧作短暂停留,随后从另一侧穿回,有时也会随即调头穿回。鱼在穿越气泡幕时多为加速通过,很少有鱼会在气泡幕附近或在气泡幕中停留,还观察到有的鱼倾向于从气泡幕两端进行穿越。随着时间的推移,许氏平鲉穿越气泡幕的次数有的逐渐增加,有的逐渐减少,有的没有明显的规律。很多情况下许氏平鲉会逐渐平静下来,聚集于水槽的边角处,追逐现象时而出现。观察发现,气泡幕对试验鱼有明显的阻拦作用,鱼穿越气泡幕的次数比空白试验中穿越塑料管上方的次数显著减少。

2.2　不同位置气泡幕拦鱼效果试验

图 2 是气泡幕在各处位置空白和气泡幕试验每 10 min 通过的鱼尾次折线图,虚线表示空白试验,实线表示气泡幕试验。由图可以看出,试验中鱼类穿越次数比空白试验要低很多,说明气泡幕有阻拦效果。随着时间增加,通气管在水槽1/2 L 和 1/4 L 处空白试验通过尾次呈现减少趋势,而在 3/4 L 处则呈现增加趋势。对于通气管在水槽处 3/4 L 处,随着时间推移通过的尾数增加,其原因可能与黑鲷喜欢寻找小的空间躲避有关。

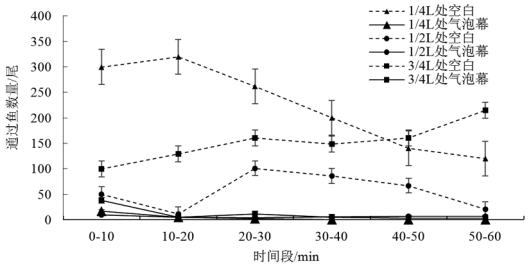

图 2　不同位置的气泡幕通过鱼数量

Fig.2　The average numbers of fish passing through the air-bubble curtainset at different tank sites

气泡幕在不同位置的许氏平鲉平均通过率和阻拦率,以及对试验组和空白对照组进行显著性检验结果见表 1。3 个位置的气泡幕对许氏平鲉阻拦效果都很明显,阻拦率分别达到了 98.212%、88.393%和 92.896%,其中在 1/4 处拦鱼效果最好。对 3 处位置试验组和空白对照组进行 F 检验,得到的 F 值分别为 157.132 1、294.511 6 和 7.936 3,都大于 $F_{0.01,2,12}=6.93$。所以,试验处理组与空白对照组差异显著,宜进行方差异性 t 检验,分别得到 $P_{5,0.01}$ = 0.000 68、0.009 611、0.000 072,都小于 0.01,差异显著,说明气泡幕拦鱼效果很明显。

表 1　不同位置气泡幕条件下试验处理组与空白对照组显著性检验

Tab.1　The test of significance between experimental group and the control group at different bubble curtain locations

项目	1/4L	1/2L	3/4L
平均通过率/%	1.788	11.607	7.104
平均阻拦率/%	98.212	88.393	92.896
试验组与对照组间 F 检验	F=157.132 1 $>F_{0.01,2,12}$=6.93	F=294.511 6 $>F_{0.01,2,12}$=6.93	F=7.936 3 $>F_{0.01,2,12}$=6.93
试验组与对照组间 t 检验	$P_{5,0.01}$=0.000 68 <0.01	$P_{5,0.01}$=0.009 611 <0.01	$P_{5,0.01}$= 0.000 072 <0.01

2.3　鱼群数量对阻拦效果影响

图 3 给出的是不同鱼群数量下每 10 min 通过的鱼尾次数,虚线表示空白试验,实线表示气泡幕试验。由图可以看出在 4 种密度下气泡幕的阻拦效果都很好,但是在 3.12、4.69 和 6.26 尾/m^2 密度下空白试验穿越次数比较多,而 1.56 尾/m^2 密度下的穿越比较少,这可能是其密度太小而水体空间足够,使得鱼游动范围充足。在空白试验中,

4.69 尾/m^2 和 6.26 尾/m^2 密度下随时间穿越次数逐渐减少,而 3.12 尾/m^2 密度下则有逐渐增多的趋势。通过试验观测,3.12 尾/m^2 密度条件下气泡幕试验中出现了穿越次数突然增加的情况,这是因为有 1~2 条鱼突然来回重复穿越气泡幕。

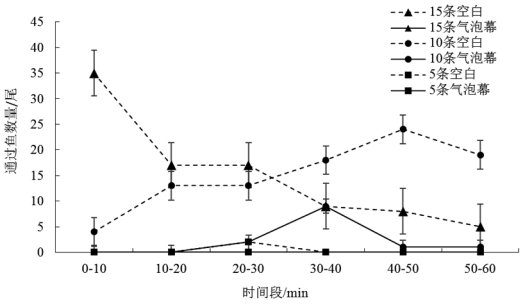

图 3 不同密度条件下每 10 min 通过的鱼群数量

Fig.3 The average number of fish passing through the air-bubble curtain in every 10 min under different density conditions

不同鱼数量下的平均通过率和阻拦率,以及对试验组和空白对照组进行显著性检验结果见表 2。4 种数量下,气泡幕对许氏平鲉阻拦率都很高,分别达到了 88.39%、100%、85.71%和 100%。对 4 处位置试验组和空白对照组进行 F 检验,得到的 F 值分别为 294.511 6、∞ 、3.991 5 和∞ 。值得说明的是,两次∞ 表示 F 值均很大,远大于 $F_{0.01,2,12}=6.93$,所以前后两处差异显著,宜选用双样本异方差 t 检验;而在 3.12、6.26 尾/m^2 密度条件下,分别得到 $F=3.991\ 5<F_{0.01,2,12}=6.93$,$F=294.51>F_{0.01,2,12}=6.93$,说明空白试验与气泡幕试验方差差异不显著,宜采用双样本等方差 t 检验。分别进行 t 检验后得到 $P_{5,0.01}=0.009\ 611$、0.009 50、0.000 98 和 0.181 60,其中 3.12、4.69和 6.26 尾/m^2 密度条件下差异显著,而 1.56 尾/m^2 密度下的差异不显著,这是由于空白试验中穿越尾次比较少引起的。

表 2 不同鱼数量条件下试验处理组与空白对照组显著性检验

Tab.2 The test of significance between experimental group and the control group under different fish-density conditions

项目	20	15	10	5
平均通过率/%	11.61	0	14.29	0
平均阻拦率/%	88.89	100	85.71	100
试验组与对照组间 F 检验	$F=294.51>F_{0.01,2,12}=6.93$	$F=\infty>F_{0.01,2,12}=6.93$	$F=3.991\ 5<F_{0.01,2,12}=6.93$	$F=\infty>F_{0.01,2,12}=6.93$
试验组与对照组间 t 检验	$P_{5,0.01}=0.009\ 60<0.01$	$P_{5,0.01}=0.009\ 50<0.01$	$P_{5,0.01}=0.000\ 98<0.01$	$P_{5,0.01}=0.181\ 60>0.01$

2.4 鱼群密度与阻拦率和通过率的关系

图 4 为鱼群密度与阻拦率和通过率的关系。阻拦率和通过率与鱼群密度关系并不明显,这与通常认为的鱼群密度越大阻拦率越低有一定的差异。

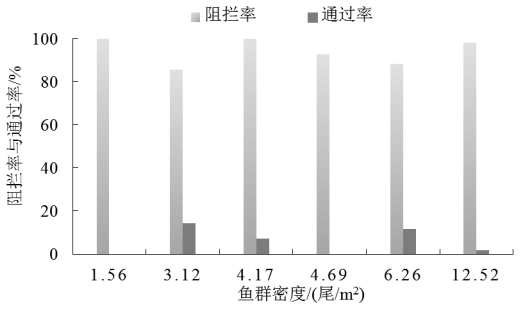

图 4 鱼群密度与阻拦率和通过率关系

Fig.4 The relationship between fish density and blocking rate, and between fish density and passing rate

3 讨论

3.1 不同位置和不同密度下气泡幕拦鱼效果

本次试验观察了气泡幕在不同位置和不同密度下的拦鱼效果。在位置试验中,3 处位置的气泡幕对许氏平鲉阻拦效果都很理想,阻拦率分别达到了 98.2%、88.4%和 92.9%,其中在 1/4 L 处拦鱼效果最好;4 种鱼群数量下,阻拦率分别达到 100%、85.7%、100%和 88.4%,说明如果在水域中采用气泡幕对许氏平鲉进行阻拦能达到理想的结果。本试验是在室内水槽中进行的,与自然环境有很大的差异。自然环境中水域广阔,鱼的密度比试验环境要小很多,鱼若远离气泡幕后很可能不再回来,这样可能进一步提高气泡幕对许氏平鲉能的阻拦效果。

3.2　气泡幕对鱼类的视觉刺激

据国内外学者的研究总结,气泡幕对鱼类的刺激主要有 3 种方式:视觉、听觉和机械振动,而具体哪一种占据主导地位,尚需根据实际情况分析[2]。在本试验中,占据主导地位的应该是视觉作用,即气泡产生后,在上升过程中会形成一道帷幕(气泡墙),这对鱼的视野将产生刺激,形成一道视觉屏障,致使鱼远离气泡幕[20]。因为声音固然有影响,但由于试验水槽不大,声音在池壁可以形成多次反射而使得音频混杂,声音的影响并不会形成单向而明确的影响;相反的,试验用海水透明度高,利于鱼类观察,所以视觉作用相对来说影响比较大。

3.3　鱼群密度与阻拦率通过率之间的关系

本研究由于气泡幕的相对位置以及在相同位置下不同数量鱼群反应的都是在有限空间下鱼群密度与气泡幕阻拦效果的关系,鱼群受到气泡幕的惊吓后首先会远离,然后群聚,在适应一段时间后便会试图穿越气泡幕。试验中,阻拦率和通过率与鱼群密度关系不明显,这与通常认为的鱼群密度越大阻拦率越低有一定的差异。这可能与许氏平鲉在水中喜欢聚集在一起有关,也有可能是鱼群密度尚未达到一个极点,即没有超过单个鱼对领域空间需求。另外,对不同的鱼在水中分布的差异也可能会产生影响,这方面需要进一步验证。

3.4　阻拦率计算方法

对于阻拦率的计算,本试验采用的方法是气泡幕下与空白试验中通过的鱼尾次做比较,这也是目前国内学者普遍采用的方法,但这样的计算方法无法把几条鱼重复穿越气泡幕的行为衡量出来。如果一群鱼里只有一条鱼重复穿越多次,且次数较多时,则以上阻拦率公式计算的结果不一定合理。本试验在 10 尾鱼试验中出现了这样的情况,因此对衡量阻拦效果方法和计算阻拦率需要进一步开展研究。

4　结论

许氏平鲉密度为 1.56、3.12、4.17、4.69、6.26 和 12.52 尾/m^2 时,气泡幕阻拦率分别达到了 100%、85.7%、92.9%、100%、88.4% 和 98.2%,阻拦效果良好。在本试验中,许氏平鲉的密度和阻拦率与通过率间没有明显关系。 □

参考文献

[1] 刘理东,何大仁.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), 1988, 27(2): 214-219.

[2] 赵锡光,何大仁,刘理东.几种孔径气泡幕对黑鲷的阻拦作用[J].厦门大学学报(自然科学版), 1989, 28: 83-87.

[3] 赵锡光,何大仁,刘理东.黑鲷和青石斑鱼对气泡幕反应的比较[J].青岛海洋大学学报, 1997, 27(1): 33-40.

[4] 赵锡光,何大仁,刘理东.气泡幕对黑绸阻拦作用机制初探[J].海洋与湖沼, 1998, 29(1): 35-40.

[5] 赵锡光,何大仁,刘理东.不同孔距固定气泡幕对黑鲷的阻拦效果[J]. 1997, 28(3): 285-293.

[6] 陈勇,张沛东,张硕,等.不同密度固定气泡幕对红鳍东方鲀的阻拦效果[J].大连水产学院学报, 2002, 17(3): 234-239.

[7] STEAWART P A M. An investigation into the reactions of fish to electrified barriers and bubble curtains[J]. Fish Research, 1981, 1:3-22.

[8] SAGER D R, HOCUT T C H, STAUFF ER J R J R. Estuarine fish responses to strobe light, bubble curtains and strobe light / bubble-curtain combinations as influenced by water flow rate and flash frequencies[J]. Fish Research, 1987, 5(4): 383-400.

[9] KOUKI ONITSUKA, JUICHIRO AKIYAMA, TATSUYA KOBAYASHI, *et al*. Effect of transmitted light and bubbles in open-channel flows on fish behaviors [M]. Advance in Water Resources and Hydraulic Engineering, 2009: 447-452.

[10] ZIELINSKI D P, VOLLER V R, SVENDSEN J C. Laboratory experiments demonstrate that bubble curtains can effectively inhibit movement of common crap [J].Ecological Engineering, 2014(67): 95-103.

[11] KIYAMA S, ARIMOTO T, INOUE. Fish herding effect by air bubble curtain in small scale experimental tank [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1991, 57:1301—1306.

[12] ZIELINSKI D P, SORENSEN P W. Field test of bubble curtain deterrent system for common carp[J]. Fisheries management and Ecology,2015,22(2):181-184.

[13] 苏锦祥.鱼类学与海水鱼类养殖 [M].北京:中国农业出版社,2000:8-238.

[14] 冯春雷,李志国,黄洪亮,等.鱼类行为研究在捕捞中的应用[J].大连水产学院学报,2009,24(2) :166-170.

[15] 乔云贵,黄洪亮,陈帅,等.气泡幕在鱼类行为研究中的应用[J].现代渔业信息,2011,26(12):29-32.

[16] 张建生,常洋,崔红.模拟尾流气泡幕的灰度图像分析[J].西安工业大学学报,2010,30(5):517-520.

[17] 张建生,林书玉,苗润才,等.基于图像处理的模拟尾流气泡幕研究[J].光子学报,2007,36(12):2371-2376.

[18] 朱理平,冒树泉,马国红,等.饲料脂肪水平对许氏平鲉脂肪沉积、血液生化指标及脂肪代谢酶活性的影响[J].水产学

报,2014,38(11):1879-1888.
[19] 马丁一,邢彬彬,齐雨琨,等.气泡幕对大泷六线鱼的阻拦效果[J].大连海洋学报,2016,31(3):311-314.
[20] 白艳勤,罗佳,牛俊涛,等.不同密度气泡幕对花鱼骨和白甲鱼的阻拦效应[J].水生态学杂志,2013,34(4):63-69.

Study on the deterrent effect of bubble curtain on rockfish (*Sebastes schlegeli*)

HUANG Liuyi[1], CHEN Jing[1], LI Long[1], HUANG Hongliang[2], TANG Yanli[1], SUN Xuanxuan[1], FANG Lu[1], LI Yuyan[1], ZHANG Zonghang[1], ZHANG Wenhui[1]

(1 *College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao* 266003, *China*;
2 *Key Laboratory of Development and Utilization, the East China Sea and Ocean Fishery Resources of the Ministry of Agriculture, Shanghai* 200090, *China*)

Abstract: Bubble curtain could be used as one of the fish controlling techniques in sea ranching. In the present study, the behavioral responses of rockfish (*Sebastes schlegeli*) were observed by changing the location of the bubble curtain in the water tank and the density of the fish, and the deterrent effectiveness of the bubble curtain on rockfish of different densities was studied using the methods of observation, controlled trials and variable-controlling. Results show that: 1) when there were 20 fish in the tank, the bubble curtain was set at the 1/4, 1/2 and 3/4 of the rectangular tank lengthwise, and the blocking rates were 98.2%, 88.4% and 92.9%, respectively; 2) when the bubble curtain was set at 1/2 of the tank lengthwise, and the experimental fish were of 5, 10, 15 and 20 in number, respectively, the blocking rates correspondingly reached 100%, 85.7%, 100% and 88.4%, and the deterrent effect was good(in which the densities of the rockfish were 1.56, 3.12, 4.69 and 6.26 individuals per square meter respectively); 3) no significant relationship between the fish density and the blocking effectiveness was observed due to the high blocking rates. The results provided a reference to the fish controlling technique in sea ranching and the fish blocking technology used in water intake areas.

Key words: bubble curtain; rockfish (*Sebastes schlegeli*); blocking rate; sea ranching

·文摘·

使用加速度数据记录器确定鱼类放生后的死亡率、行为和恢复期

目前全球鱼类资源的衰退引起了对渔业捕捞活动和捉放式捕鱼活动的可持续性的质疑,推动了对总捕捞压力进行量化的努力。鱼捕获到船上后的死亡率相对容易获得,但精确地评估放生后鱼的死亡率和亚致死行为影响已被证明是困难的。加速度数据记录器(ADLs)是鱼类放生研究中的一个有用工具,但还没有得到充分利用。本文旨在论证 ADLs 在确定放生鱼类生死情况方面的应用,并使用基于加速度的鱼类游动度量指标量化放生鱼类恢复期的方法提供一个实例。为了对该方法的应用进行阐述,使用了来自佛罗里达休闲鲨鱼渔业中捕捉后放生的黑边鳍真鲨的样本数据。鲨鱼死亡事件从鲨鱼所处固定水深的踪迹及其最终停止摆尾活动中加以推断,而获得的姿态信息则可用于证实所植入的标志仍附着在鲨鱼上。还对如何将来自存活的鲨鱼个体的 ADL 数据用于计算鲨鱼游动行为的 58 个精细度量指标做了详细描述。计算出的恢复期范围在 5.1~19.5 h,平均(10.54±3.78)h。ADLs 的成本低,因而具备多点部署的能力。ADLs 提供了放生鱼类死亡的明确证据,而且还允许对亚致死症状进行量化,使其可用于度量不同操作器具或处置方式带来的影响,甚至可用于罕有死亡事件发生的物种。

(《Fisheries Research》Vol. 183)