

移动声源对鲤、草鱼的诱引效果

张沛东¹, 张国胜², 张秀梅¹

(1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003; 2. 大连水产学院, 海洋工程学院, 辽宁 大连 116023)

摘要:目前我国淡水水域的养殖对象大多为中、底层鱼类,仍主要采用传统渔具捕捞。其缺点是受底质、水深、环境以及水流等因素限制,要求鱼群较集中,劳动作业强度大。为了改进传统的捕捞作业方式,本研究利用鱼类的生物学特性,参考音响驯化技术的有关参数,结合投饵用400 Hz正弦波连续音移动声源对鲤鱼(*Cyprinus carpio*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)进行诱引驯化试验。结果表明,最初放声时2种鱼均产生惊愕反应,迅速离声源而去;但驯化6 d后,鲤、草鱼在放声后迅速游向声源,聚集率均为100%。经移动声源驯化6 d后,鲤、草鱼能够跟随声源迅速移动,跟随率均为100%,平均跟随时间分别为19.8 s和20.2 s。*t*检验证实,2种试验鱼跟随时间无显著差异($\alpha=0.05$),说明鲤、草鱼对移动声源的诱引反应敏感。本研究成果旨在为音响驯化技术在淡水渔业中的应用及新渔具渔法的研制开发提供更进一步的科学依据。

关键词: 鲤鱼; 草鱼; 移动声源; 诱引效果

中图分类号: S973.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8737-(2004)04-0339-05

我国水库多数为河流型和分枝型,一般位于地形复杂的丘陵山谷区,敞水区较小,两岸较陡,沿岸浅水带面积不大,库岸线较弯曲。湖泊、湖泊型水库有的多水草,有的库、湖底地形复杂,障碍物较多^[1]。在上述水域进行捕捞作业,地拉网、拖网等移动性渔具不能应用,定置渔具也多受限制。因此,即使能够利用音响驯化技术诱集养殖鱼,对其捕捞仍十分困难。目前针对这一问题的解决方法国内外仍未见报道。本研究结合投饵用移动声源对鲤鱼(*Cyprinus carpio*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)进行诱引试验,研究鲤、草鱼在移动声源诱引下的行为反应,探讨用移动声源诱引鱼群的有效方法,从而达到能够用移动声源把诱集在一起的鱼群诱引到合适的捕捞区域进行捕捞作业的目的,以期开发淡水捕捞新技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

实验鱼为鲤鱼(*Cyprinus carpio*)和草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*),各40尾,体长分别为13.6~15.8 cm、11.5~15.8 cm。移入水槽后暂养5 d,各

重复试验10 d。

试验水槽为4 m×1 m×1 m的玻璃钢树脂水槽,其四周用布围遮,上方用日光灯照明,水槽中央水面照度为126 lx,水温利用调温加热器控制在19~21℃,水深0.6 m。移动架设在水槽上方,并与水槽距离2~3 cm,以排除放声引起水槽壁振动的干扰。移动架用2台功率和转速都相同的绞拉机牵引,根据鲤、草鱼的游泳速度^[2-3]及绞拉机、水槽的实际情况,移动速度设定为6.5 cm/s。水下扬声器固定在移动架中央下方,设置水深0.3 m。声音信号采用400 Hz正弦波连续音。投饵架(点)设定在移动架中央前方20 cm处,并与移动架固定在一起。为避免近距离人影对鱼群聚集的影响,使用直径为2 cm、长为2 m的软塑料管在围布外投饵。投饵架(点)设定在水中音压测试点2(参照图1,下同)位置时,与水下扬声器同一水平面的投饵点处的水中音压利用水中音压计(OKI SW1030)控制在150 dB左右(0 dB re 1 μPa)^[4-6],水槽两侧分别用网片隔断20 cm。在水槽一侧架设摄像机进行试验记录,试验装置简图见图1。

收稿日期:2003-11-27; 修订日期:2004-03-09。

基金项目:辽宁省科技厅资助项目(001054)。

作者简介:张沛东(1975-),男,中国海洋大学博士研究生,从事鱼、虾行为研究。E-mail: zhangpdsg@hotmail.com

通讯作者:张秀梅。E-mail: gaozhang@ouc.edu.cn

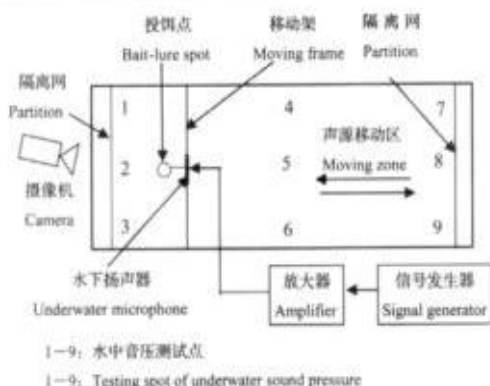


图1 试验装置简图

Fig.1 Installation of experiment

1.2 方法

实验分2步:1)定点驯化。把投饵架(点)设置在水中音压测试点2处,把鱼群也驱赶到测试点2的一侧。然后开始放声,当不再有鱼聚集到投饵点后开始投饵,投饵时间为30 s,投饵量设定为3 g,分3次投喂。2)移动驯化。定点驯化中饵料投喂完成后,立即开动绞拉机牵引移动架和投饵架(点)移动,观察鱼群的行为反应并记录鱼群的跟随率和跟随时间,直到不再有鱼跟随移动声源移动,关闭绞拉机。然后开始继续投饵,投饵量设定为5 g,分5次投喂,投喂完成后继续放声30 s全部试验结束。为避免鱼饱食后对声音反应不敏感,投饵总量参照佐藤靖^[7]的研究报告设定为8 g(约为试验鱼总体重的0.6%)。驯化时间10 d,每日驯化5次。

试验数据输入计算机进行统计学分析处理。移动声源的诱引效果用跟随时间和跟随率来判断。跟随时间为从鱼群开始跟随移动声源移动到不再有试验鱼跟随移动声源移动的时间。跟随率,即在跟随时间内,跟随移动声源移动的鱼尾数与总尾数的百分比。

2 结果

2.1 定点驯化时放声前后鲤、草鱼的行为反应

观察表明,放声之前,实验鱼基本上分布于隔离网附近,游速缓慢,游动方向较为杂乱。试验第1、2天,2种试验鱼对声音刺激均产生较强烈的惊愕反应,游速在放声的瞬间突然增加,迅速游向隔离网;试验第3、4天,试验鱼仍有少许惊愕反应,但有大约30%的鱼试探性地游向投饵点觅食;试验第5

天,实验鱼未产生惊愕反应,放声后迅速游向投饵点,鲤、草鱼的聚集率分别为80%、90%;实验第6天,鲤、草鱼对声音刺激反应强烈,放声后迅速游向投饵点,聚集率均为100%,鲤、草鱼聚集到投饵点附近后,在投饵点附近做回旋状群游,上浮觅食。在以后的实验过程中,2种实验鱼对声音刺激均产生了明显的聚集反应行为,聚集率都为100%。

2.2 鲤、草鱼在移动声源诱引下的行为反应

观察表明,实验前5 d鲤、草鱼未跟随移动声源移动。从实验第6天开始,声源移动后,鲤、草鱼略作1~2 s停顿,然后迅速跟随声源移动,移动过程中鱼群呈回旋状群游状态。

2.3 鲤、草鱼停止跟随声源移动后的行为反应

观察表明,当鲤、草鱼不再跟随声源移动后,大多数情况迅速游回到测试点2附近,有时也游到测试点8附近,但投饵后又都游到投饵点觅食。

2.4 鲤、草鱼对移动声源的跟随率

鲤、草鱼对移动声源的跟随率均为100%。这表明移动声源对鲤、草鱼均有较强的诱引作用。

2.5 鲤、草鱼对移动声源的跟随时间

鲤、草鱼对移动声源的跟随时间见表1、2。试验结果表明,鲤、草鱼对移动声源的诱引反应强烈,其平均跟随时间依日递增,其中草鱼的平均跟随时间略大于鲤鱼的平均跟随时间,从试验第6天开始,2种试验鱼均是在声源移动后作1~2 s短暂游动后便迅速跟随声源移动,鱼群在移动过程中密集,并呈回旋状群游状态。试验数据经 t 检验得出: $t_{\text{跟随时间}} = 0.57 < t_{0.025}(8) = 2.31$,因此可以认为两种试验鱼跟随时间无显著差异,移动声源对鲤、草鱼均有较强的诱引作用。

3 讨论

鱼类的游泳速度根据鱼类游泳时的行为状态可分为2种形式:(1)正常游泳速度,又称耐久速度或巡航速度,一般能够维持较长时间;(2)非正常速度,又称最大速度或突进速度。一般只能维持几分钟,甚至几秒钟的短暂时间。何大仁^[2]认为,圆筒形鱼类的最大速度为4~6 BL/s(BL为体长),Blaxter^[3]认为,大多数纺锤形鱼的巡航速度为2~3 BL/s。本实验参照纺锤形鱼类的巡航速度并结合实验仪器的实际情况,声源移动速度设定为6.5 cm/s,实验结果显示,实验鱼能够在此速度下跟随声源移动。但由于实验条件所限,本实验没能测出

表1 鲤鱼在移动声源诱引下的跟随时间

Table 1 Following time of common carp attracted by moving sound

试验顺序 Experimental sequence	每日驯化时间 Taming time per day					$\bar{X} \pm SD$
	8:00	11:00	14:00	17:00	20:00	
第6天 Sixth day	17	19	21	19	16	18.4 ± 1.95
第7天 Seventh day	19	20	18	22	19	19.6 ± 1.52
第8天 Eighth day	19	21	22	21	19	20.4 ± 1.34
第9天 Ninth day	22	19	20	19	23	20.6 ± 1.82
第10天 Tenth day	22	19	24	24	21	22.0 ± 2.12

表2 草鱼在移动声源诱引下的跟随时间

Table 2 Following time of grass carp attracted by moving sound

试验顺序 Experimental sequence	每日驯化时间 Taming time per day					$\bar{X} \pm SD$
	8:00	11:00	14:00	17:00	20:00	
第6天 Sixth day	24	17	19	21	16	19.4 ± 3.21
第7天 Seventh day	17	22	18	25	19	20.2 ± 3.27
第8天 Eighth day	21	19	22	17	24	20.6 ± 2.70
第9天 Ninth day	19	18	24	21	24	21.2 ± 2.77
第10天 Tenth day	22	20	22	25	19	21.6 ± 2.30

鲤、草鱼能够跟随声源移动的最大速度。

本实验用水中音压计 (OKI SW1030) 测出了投饵架 (点) 设定在水中音压测试点 2、5 处时各测试点不同水层的水中音压, 见表 3、4。投饵架 (点) 设定在水中音压测试点 8 处时, 各测试点的水中音压值与投饵架 (点) 设定在测试点 2 处时的数值差均小于 0.5 dB, 且水中音压减小的梯度相同, 可以认为 2 处的水中音压相同。依表可见, 各测试点的各水层水中音压均是从声源向外梯度递减, 从而保持投饵点处水中音压最大。本实验的鲤、草鱼对移动声源的跟随率均为 100%, 这表明 400 Hz、150 dB 正弦波连续音移动声源对鲤、草鱼均有较强的诱引作用, 在本实验所用的水槽中能够感觉到水中音压的变化, 而产生跟随反应。另外, 这种跟随反应也与鱼类的水下声源定位能力^{[2,4]1)}和集群性有关^[2,8]。声源移动后, 鱼群中感觉较灵敏的鱼或者处在离声源

最近位置的鱼感觉到声源移动并产生相应的跟随反应时, 鱼群中其他鱼即使没有直接感觉到声源移动, 但因接到移动信号也将会同样地产生跟随反应。

何大仁^[2]、张国胜^[1]、有元贵文^[9]、SAWA^[10]、Hawkins^[11]等研究指出: 鱼类中听觉最敏感的是骨鳔类 (鳔与内耳通过韦伯氏器连接)。鲤、草鱼同属于淡水骨鳔类, 具有相近的听觉特性。实验结果也表明鲤、草鱼对移动声源的跟随时间无显著差异。

有关研究^{[2)~4)、[12~15]}指出: 骨鳔类可听声音频率范围为 16 ~ 13 000 Hz, 最敏感频率范围为 200 ~ 600 Hz, 非骨鳔类可听声音频率范围为 100 ~ 1 500 Hz, 最敏感频率范围一般为 100 ~ 500 Hz。海水鱼的音响驯化声音频率一般选择 200 ~ 300 Hz, 淡水鱼的音响驯化声音频率一般选择 300 ~ 400 Hz。根据鲤、草鱼听觉最敏感频率范围及为了避免低频高噪声的干扰^[16~17], 本实验声音频率选择 400 Hz。结果表明, 鲤、草鱼对 400 Hz 正弦波连续音反应敏感, 并呈正趋声性。

目前有关鱼类声音记忆力的报道较少。黑木敏郎^[3]采用 500 Hz 脉冲音结合饵料, 对 3 尾体长为 8 cm、体重为 11 g 的金鱼进行驯化, 1 日 4 次。其结果表明, 2 个月后金鱼对声音的记忆完全消失。但是, 青木一郎^[18]采用 400 Hz 的信号声结合饵料对全长为 11 cm 的鲤鱼进行驯化, 1 日 8 次, 开始驯化 17 d, 停 1 个月后再驯化 3 次, 其结果表明鲤鱼对声

- 1) 张国胜, 傅恩波, 许传才, 等. 鱼类的听觉特性 [A]. 2000 年中国水产学会学术年会论文集 [C], 2000, 413 ~ 419.
- 2) 王 俊, 竹村陽. ヒブナにおける誘引刺激としての水中音について [A]. 長崎大学水産学部研究報告 [C], 1992, 72: 1 ~ 3.
- 3) 内田 浩, 后藤悦郎, 小谷弘行. 島前湾海洋牧場開発事業 [A]. 島根県栽培漁業センター事業報告書 [C], 1996, 41 ~ 51.
- 4) 尾上静正, 上城義信. カレイ資源管理實踐事業 [A]. 大分県浅海漁業試験場事業報告 [C], 1998, 82 ~ 91.
- 5) 黒木敏郎. 音響による魚群の大規模制御集魚効果の研究 [C]. 日本文部省科研費研究成果報告書, 1979, 126 ~ 132.

音的记忆力可保持5~7个月。这可能与每天驯化的次数、驯化时间的长短及加强驯化有关。鲤、草鱼经400 Hz正弦波连续音移动声源驯化10 d后能对

该声音频率记忆多长时间,还有待于今后进一步的测试研究。

表3 投饵架(点)设定在水中音压测试点2时水中的音压

Table 3 Determination of underwater sound pressure when bait-lure frame (spot) was set on spot 2

dB

距底面 Distance from underside	测试点 Testing spot								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10 cm	124.3	143.9	123.9	111.0	116.0	111.5	110.6	110.8	98.3
30 cm	136.3	147.6	138.9	112.1	116.9	113.6	102.6	104.9	95.1
50 cm	134.9	144.6	133.2	111.2	116.3	111.1	96.0	98.3	92.8

注:各测试点位置见图1中所标数字。

Note: The position of each testing spot sees the number marked in Fig. 1.

表4 投饵架(点)设定在水中音压测试点5时水中的音压

Table 4 Determination of underwater sound pressure when bait-lure frame (spot) was set on the spot 5

dB

距底面 Distance from underside	测试点 Testing spot								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10 cm	105.2	109.0	106.6	135.2	147.3	141.1	103.6	111.8	104.3
30 cm	102.4	105.2	100.6	122.8	136.2	134.5	104.6	106.6	106.1
50 cm	103.9	107.3	105.5	132.3	145.4	140.1	104.0	105.5	103.2

注:各测试点位置见图1中所标数字。

Note: The position of each testing spot sees the number marked in Fig. 1.

将投饵点定期短距离移动,可使湖、库底积累的氮、磷等营养元素借助鱼摄食时形成的水体流动,充分参加水体的物质循环,不仅避免底质中腐败有毒物质的产生,而且可以改善水质,促进浮游植物的生长和繁殖,为滤食性鱼类提供丰富的天然饵料,提高湖、库鱼产量^[19]。作者于2002年6~7月在赤峰市草原水库进行了移动声源对鱼类的诱引试验,声源一次移动20 m,每移动一次音响驯化2 d,收到了较好的诱鱼效果。

参考文献:

- [1] 杨干荣. 实用水库渔业技术[M]. 北京: 金盾出版社, 1993. 31.
- [2] 何大仁, 蔡厚才. 鱼类行为学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1998. 62-72.
- [3] Blaxter J H S. Swimming speed of fish[A]. FAO Fisheries Report [C], 1969, 62: 69-100.
- [4] 畠山良己. 魚の聴覚能力[J]. 水産工学, 1992, 28: 111-119.
- [5] 畠山良己. 魚の聴覚能力と水中音に対する反応(Ⅱ)[J]. 海洋音響学科志, 1996, 23(3): 8-15.
- [6] 畠山良己. 魚の聴覚と音に対する反応[J]. 信学技報, 1995, 31: 19-26.
- [7] 佐藤 靖. クロソイ音響馴化型海洋牧場開発事業(MF21 受

託事業)[A]. 宮城県栽培漁業センター事業報告[C], 1992, 68-77.

- [8] 井上 実. 魚の行動と漁法[M]. 東京: 恒星社厚生閣, 1978.
- [9] 有元貴文, 難波憲二. 魚の行動生理学と漁法[M]. 東京: 恒星社厚生閣, 1996. 96-114.
- [10] SAWA M. The Audiogram of the goldfish determined by a heart rate conditioned method[J]. Bull Fac Fish Hokkaido Univ, 1976, 27: 129-136.
- [11] Hawkins A D. Underwater sound and fish behavior. Behaviour of teleosts[M]. Sydney: CROOM HELM London & Sydney, 1986. 114-152.
- [12] Takahito Kojima, Tetsuya Shimamura, Kazumasa Yozu, etc. Whaped auditory threshold curves of masu salmon *Oncorhynchus masou* [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58(8): 1447-1452.
- [13] 张国胜, 张沛东, 陈 勇, 等. 鲫幼鱼音响驯化的研究[J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(1): 48-52.
- [14] 上城義信. 音響馴化システムによる魚群制御[J]. 水産工学, 1991, 28: 65-70.
- [15] 赵传烟, 唐小曼, 陈思行. 鱼类的行动[M]. 北京: 中国农业出版社, 1989. 113-138.
- [16] 殷政章, 梁源高, 任荣珠. 音响训练真鲷[J]. 齐鲁渔业, 1997(3): 8.
- [17] 张国胜, 平石智徳, 山本勝太郎, 等. マコガレイの背景雑音によるマスキング[J]. 日本水産学会誌, 1998, 64: 987-992.

- [18] 青木一郎. コイの食餌条件反応の長期保持[J]. 動物心理学 年報, 1984, 34(2): 87-94.
- [19] 马旭洲. 池塘强化养鱼投饲技术[J]. 科学养鱼, 1997(6): 36.

Attraction of common carp and grass carp by moving sound

ZHANG Pei-dong¹, ZHANG Guo-sheng², ZHANG Xiu-mei¹

(1. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Ocean Engineering College, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China)

Abstract: The culture species of freshwater fisheries in China are most midwater and demersal fishes caught by traditional fishing gears and drug. However, the traditional fishing gears are always limited by environmental factors, such as substratum, depth of water, surroundings and flow etc., and the shoal of fish are required to be relatively centralized and the labor intensity of catching is great. Moreover, most reservoirs in China lie in the areas of hills and valleys, and lakes always have a large amount of float grass, in which traveling fishing gears such as sweep net and trawl cannot be used and nets setting is limited badly. So far there are no effective methods to solve the serious problem. For improving the traditional catching techniques, attraction of common carp *Cyprinus carpio* and grass carp *Ctenopharyngodon idellus* to moving sound of 400 Hz sine wave was studied by using their biological characteristics and referring to the relational parameters of acoustic taming technology. The test was divided into two steps: (1) Training with the immovable sound of 400 Hz sine wave. Underwater microphone was set on the 2nd testing spot of underwater sound pressure. Then sound was played. And bait was cast as soon as the fish did not be attracted to swim towards sound source. Time of casting bait was set as 30 s and the amount of bait was set as 3 g that was divided into 3 times to throw into. (2) Training with the moving sound of 400 Hz sine wave. While the process of casting bait in step (1) was finished, tractor was operated immediately to draw the underwater microphone to move and the behavior of shoal was observed and their following time and following ratio was noted at the same time. The speed of tractor was set as 6.5 cm/s according to the swimming speed of common carp and grass carp and the actual conditions of laboratory. The tractor was shut up when the fish did not be attracted to swim following the sound source. Then the casting bait was begun. The amount of bait was set as 5 g that was divided into 5 times to throw into. After the process of casting bait was finished, the sound was still played for 30 s. The result indicated that fish showed a fright reaction, swimming away from the sound source when sound was played at first. But after 6 d training, common carp and grass carp swam towards the sound source rapidly when sound was played and their aggregation ratio was 100% both. After arriving to the area of sound source, the fish swam round in shoals surrounding the sound source and moved up to the surface of water. Also, common carp and grass carp could follow the sound source to move rapidly after 6 d training with moving sound and showed behavior of swimming round in shoals. The following ratio of common carp and grass carp was both 100% and the average following time was 19.8 s and 20.2 s respectively. There was no significant difference in following time between the two species (t -test, $\alpha=0.05$), which verified that common carp and grass carp were sensitive to moving sound of 400 Hz sine wave. The achievement of this research will improve the catching ratio greatly in the water areas that surroundings and substratum are bad and provide further scientific foundations for application of acoustic taming technology on freshwater fisheries and exploitation of new fishing gears and fishing methods, which will be of great importance for freshwater fisheries to have a fast, healthy and sustainable development.

Key words: *Cyprinus carpio*; *Ctenopharyngodon idellus*; moving sound; attraction

Corresponding author: ZHANG Xiu-mei. E-mail: gaozhang@ouc.edu.cn