

文章编号: 1674 - 5566(2012)04 - 0554 - 07

网箱中黑鲟音响驯化的诱集效果探究

陈德慧¹, 刘洪生¹, 胡庆松², 王伟定³, 章守宇¹

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 工程学院, 上海 201306; 3. 浙江省海洋水产研究所, 浙江 舟山 316000)

摘要: 音响驯化作为鱼类行为控制技术之一, 对海洋牧场内的鱼种行为控制有明显的作用。在驯化声源中, 目标鱼种栖息海域背景噪声有望具有更佳的驯化效果。为此, 在天然水域的网箱中采用录制的黑鲟栖息地背景噪声对黑鲟 (*Sparus macrocephalus*) 进行了音响驯化。由现场观察及数据分析, 自然海域声音配合投饵能对黑鲟产生较好的集鱼效果。黑鲟幼苗音响驯化一般经历3个过程, 即环境适应, 对饵料的需求达到一定量, 建立声音与摄食之间的条件反射; 黑鲟能识别声音, 并维持一定的记忆时间。实验结果表明, 采用海域背景噪声的音响驯化, 配合投饵是一种有效的手段, 并可以使黑鲟对声音的短期记忆转化为长期记忆。

研究亮点: 目前国内音响驯化研究环境主要停留在室内水槽中, 自然水域网箱中的音响驯化国内未见报道。并且尝试将黑鲟放流海域的水下背景噪声作为驯化声源, 探究鱼群诱集效果。另外将 Atkinson-Shiffrin 记忆理论运用到鱼类音响驯化领域中, 探讨了定时声音刺激对黑鲟的行为反馈以及记忆变化的影响。

关键词: 黑鲟; 音响驯化; 网箱; 近海背景音; 记忆

中图分类号: S 973. 4; S 965. 231

文献标志码: A

音响驯化技术是在海洋牧场中对生物行为的一种控制技术。是利用鱼类的听觉行为, 采用一定频谱的声波结合投饵对其进行条件反射训练, 从而达到对鱼群进行有效控制的目的。

国外该研究早在 20 世纪 70 年代就已经开展^[1]。在欧洲, 文献记载较多的音响驯化对象是大西洋鲑 (*Salmo salar*)^[2]、虹鳟 (*Salmo gairdneri*)^[1-2]、黑线鳕 (*Sarotherodon galilaeus*)^[3]。日本的音响驯化技术在亚洲处于领先地位, 真鲷 (*Chrysophrys major*) 是主要的驯化对象^[4], 也有黑鲟 (*Sparus macrocephalus*) 等在海洋牧场区的驯化、放流、回捕的报道, 均取得了较好的效果^[5-6]。国内八十年代有学者做过音响驯化的初步研究^[7], 2000 年以来, 中国政府投入大量资金用于建设人工渔礁、增殖放流、水生生物养护等渔业工程建设, 诸如“大连獐子岛海洋牧场”、“汕头海

洋牧场”、“汕头海洋牧场”等 20 余处, 从北到南形成颇具规模的海洋牧场链, 音响驯化技术在海洋牧场建设中的运用十分有前景。

经过数十年的发展, 音响驯化在鱼类养殖^[1-2, 8]、人工放流回捕^[5-6]、海洋牧场的监测、管理^[9]中被证明有重要的辅助作用, 并且开发出了音响驯化的装置^[10-11]作为商品出现在市场上, 可以看出音响驯化对鱼类行为的控制作用已在相关领域内被广泛接受并推广。

尝试在自然水域中音响驯化, 并采用黑鲟放流海域的水下背景噪声作为驯化音源, 紧密结合黑鲟的生理习性, 以海洋牧场作为研究战略背景, 采取在自然海域中的网箱作为音响驯化场地, 探讨黑鲟行为与水下声学的关系, 定期投饵结合放音对黑鲟进行一定时间及强度的驯化, 结果表明了实验方案的有效性。

收稿日期: 2011-10-08 修回日期: 2011-12-11

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费(201003068); 国家海洋公益性行业科研专项(201005013); 上海市教育委员会科研创新项目(12YZ133)

作者简介: 陈德慧(1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为鱼类行为控制。E-mail: kurtcj1@126.com

通讯作者: 章守宇, E-mail: syzhang@shou.edu.cn

1 材料与方法

1.1 实验对象

实验用黑鲷 (*Sparus macrocephalus*) 幼鱼总计 2 000 尾, 抽样测量平均尾叉长为 (1.10 ± 0.07) cm, 平均体重 (0.20 ± 0.04) g。幼苗购自舟山市六横岛养殖基地, 由象山宁港水产养殖公司暂养于养殖场网箱。

1.2 实验场地与仪器设备

实验选址为浙江省象山县境内象山港支港西沪港网箱养殖基地, 具体位置如图 1 所示。象山港属于正规半日潮, 7 月份为丰水期, 平均水深 10 m, 营养盐丰富, 属于水产增养殖的一等地, 是浙江省水产增养殖条件优良的海涂资源地^[12]。选取的网箱长宽为 6 m × 3 m, 网兜深度为 1.5 m。

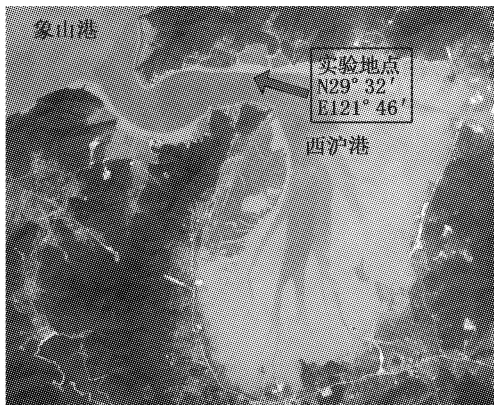


图 1 实验选址示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experiment site

仪器包括功率放大器、扬声器、MP3 播放器等, 以及蓄电池、逆变器等供电设备, 放音驯化设备连接如图 2 所示。蓄电池输出直流电经逆变器转化为 220 V 交流电, 供功率放大器和 MP3 播放器使用。投饵区选在离扬声器放置点附近。

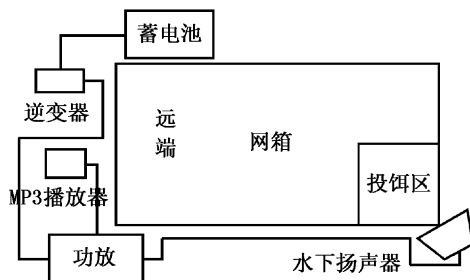


图 2 实验装置

Fig. 2 Experimental facility

1.3 实验方法

1.3.1 现场实验设计

参照象山港当地网箱黑鲷养殖的模式, 音响驯化投喂频率为每天一次, 日均投饵量为鱼群总重量的 6%^[6]。由于本实验时间跨度较长, 达 50 多天, 黑鲷在喂养过程中体重会逐渐增加, 摄食量也随之增加; 又因幼体黑鲷在相对增重率、饲料转化率等指标的变化幅度远大于成鱼^[13], 故该实验阶段的黑鲷体重变化非常明显, 因此每隔一定时间 (5 ~ 7 d) 进行抽样称重, 进而重新计算投饵量。由于鱼群样本数庞大, 故将投饵前放音时间定为 5 min, 投饵时间为 15 ~ 17 min, 投饵结束的同时停止放音。

黑鲷属近底层海洋鱼类, 其摄食率、生长率、代谢率均随温度上升而呈减速增长趋势^[14], 为了提高音响驯化效果, 投饵量不能过足。黑鲷习惯在水温相对较低的环境下摄食, 因此每天的驯化时间定在早晨 5 点前后阳光未直接照射水面。经测定, 实验时网箱水温为 26.0 °C ~ 30.2 °C。实际观察表明, 光照较强、表层水温较高的白天, 黑鲷很少出现于表层水域, 实验效果受水温、光照等环境因素影响。

实验分为两个阶段, 第一阶段为常规的投饵驯化, 当驯化鱼群对水下音响的正反馈达到理想程度, 中间停止放音驯化, 只每天给予必要的摄食, 该过程持续 30 d, 即进行 30 次音响驯化。停止放音, 间隔 18 d 后, 再继续进行第二阶段的音响驯化, 该阶段共持续 8 d, 各种实验条件与第一阶段相同, 但需调整投饵量, 重复第一阶段的放音投喂步骤, 探究黑鲷对声音的记忆效果, 以及重新达到先前的记忆水平所需要的驯化次数。

1.3.2 实验数据量化统计方法

由于本实验在开放海域进行, 无法像室内水槽中驯化采用视频监控, 另外大小潮时水色透明度差距很大, 并且悬浮物多, 水下摄像头效果也不好, 因此采用传统的水面拍摄, 将进入投饵区表层可视范围内的黑鲷数量获取作为聚集率统计的数据。

由于黑鲷数量庞大, 用肉眼对获取的照片中黑鲷进行准确计数无法实现, 故鱼群量化采用计算机图像识别技术对黑鲷截图进行计数^[15]。基于该方法, 将拍摄的黑鲷照片处理并导入图像处理程序, 最后导出可分辨范围内的黑鲷数量。对

每天进入投饵区的黑鲷进行聚集率统计,并与音响驯化次数的变化建立关系。

2 波形解析与音响驯化结果

2.1 驯化用声波处理与声压解析

本实验脱离了用与平时鱼类生息不相关的音频驯化的传统方式,使用黑鲷生活海域采集的声音对黑鲷进行音响驯化。使用水听器在黑鲷预定放流海域监测并连接录音设备录制水下环境背景噪声,将所得模拟信号转化成数字信号,由于现场海域水下声音来源复杂,频率自 0 - 14 000 Hz 高低不等,其中 1 000 Hz 与 8 000 Hz 为两个主要频率带。又因鲷科的敏感听觉域为 36 - 1 250 Hz^[8],因此用 Adobe audition 将大于 1 250 Hz 的频段滤除。为确保实验用声音不被环境背景噪声覆盖(实验海域网箱处背景噪声为 91.23 dB),故用软件将实验音频的声压级调高。根据网箱的尺寸,对网箱内各点的水下声场情况进行测量,测量方法参照 HU 等^[16]关于水下声压测量的研究。水听器(RHSA30)灵敏度 -176.3 dB,信号放大器选用 NF5307(日本 NF 公司),处理软件为 Spike 2(英国 CED 公司),音源离水表面 0.6 m,以扬声器为中心向网箱远端递减。由于采集的声音成分复杂,因此同一个测试点存在极大值与极小值,声压分布如表 1 所示。可以看出放音时网箱内绝大部分区域的声压值均大于背景噪声,6 m 范围内的最大声压均大于 110 dB;各点最小声压大于环境的背景噪声,保证鱼群能辨别并对水下放声产生反馈。

表 1 水中声压分布情况

Tab. 1 Distribution of underwater sound pressure

距离/m	声压最小值/dB	声压最大值/dB
0.5	119.64	137.56
1	114.69	131.86
1.5	109.20	125.55
2.5	104.78	120.47
4	100.06	113.90
6	96.91	110.23

2.2 音响驯化结果

2.2.1 第一阶段音响驯化

刚开始驯化时黑鲷平均叉长为 1.1 cm,驯化 5 次后,黑鲷对声音没有明显反应,即使投饵后黑鲷的聚集也不明显。该时段可以被认为是黑鲷

对环境的适应期,对于各种外界影响因子十分敏感,加上本身鱼体过小,对食物的需求不大,因而对投饵也没有太强的反应。因此,开放水域黑鲷的音响驯化需要较长的环境适应期,并且个体过小不易短时间内建立条件反射的效果。

随黑鲷的生长,它对饵料的需求量也增大,而且实验表明放音配合投饵反复对黑鲷强化记忆效果可逐渐显现。然而该过程是声音的渐渐适应时期,暂时还是无法在放音时形成明显聚集情形。本阶段从第 7 次开始,总计约 10 d 时长。选取其中 4 次投饵时的聚集情况。如图 3,可以看出,黑鲷聚集抢食的数量随着驯化次数的增加有明显的增长趋势。

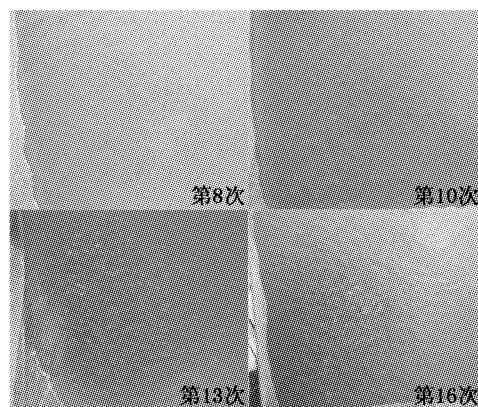


图 3 投饵时黑鲷聚集情况

Fig. 3 Aggregation situation while feeding

再往后,当日均投饵量达到一定程度时,黑鲷对摄食逐渐出现强烈需求,在第 17 次至第 27 次驯化时,放音配合投饵的效果开始明显体现。该段时间内,投饵前放音时的黑鲷聚集情况截图反映了黑鲷对声音的反应情况,见图 4,红线为黑鲷的放音后的游动路径。

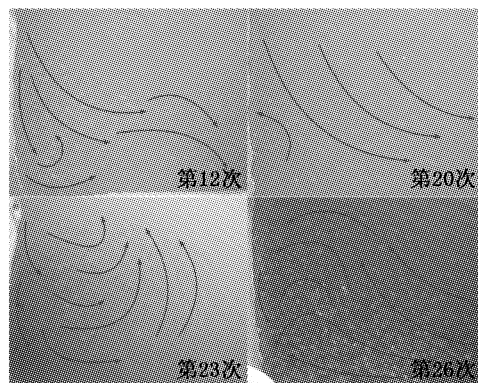


图 4 放音未投饵时黑鲷聚集情况

Fig. 4 Aggregation situation when playing sound without feeding

由图 4 可以看出,随着音响驯化次数的增加,聚集到投饵区的黑鲷数量越来越多,运动的方向性越来越明确,鱼群厚度变大,且较活跃,鱼首朝向逐渐由音源外指向音源。

2.2.2 第二阶段音响驯化

在经历 18 d 的放音停滞(期间投喂时未放音),黑鲷主要的活动区域从原先的投饵区变为远端,见图 2。根据现场的实际判断,由于远端离网箱管理房最近,最易受人为活动影响,期间鱼群适应了周围环境,对人为活动有显著的趋向性。其次,停止驯化期间内,饵料投喂由当地渔民进行,饵料投撒的位置随机,因此黑鲷建立起对投饵位置的记忆随着时间推移被逐渐冲淡。

第二阶段进行了 8 次驯化,选取其中 4 次放音未投饵时的照片对黑鲷的聚集情况进行说明,如图 5 所示。

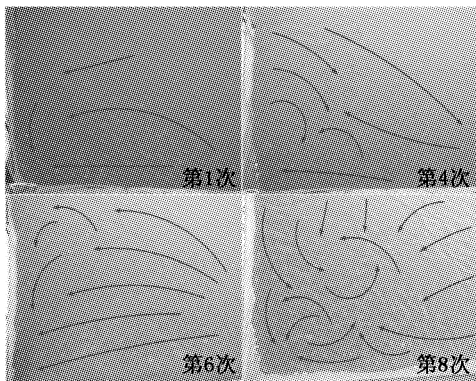


图 5 黑鲷运动集聚随音响驯化次数增加的变化情况

Fig. 5 Situation of fish behavior changes with acoustic taming tries increasing

图 5 表明,随着驯化次数的增加,黑鲷的聚集量也变多,其活跃程度,即运动的复杂程度也在增加,四个时期均表明了黑鲷整体运动趋势(红线箭头所指)是指向音源方向的。有部分黑鲷游动方向偏离音源,但通过近似椭圆的运动轨迹,最终还是回迂迴游向音源方向。

3 结论

黑鲷音响驯化一般经历 3 个过程:(1)环境适应;(2)对饵料需求达到一定量;(3)建立声音与摄食之间的条件反射。音响驯化需要借助摄食来与其听觉系统形成联系,而黑鲷尺寸过小,每天摄食量有限,就无法充分建立摄食与音响的关系。另外黑鲷尺寸过小,包括消化器官、听觉

器官均未发育完善,也制约了短期内音响驯化的效果。

驯化过程具有累积效应,反映了黑鲷具有一定记忆力。两个阶段驯化的黑鲷聚集率如图 6 所示。实验数据表明,随着实验次数的增加,两个阶段的黑鲷聚集率呈上升趋势。第一阶段的驯化用了 30 次将水表层黑鲷聚集率提高至 64% 并趋于稳定,而第二阶段只用了 8 次就达到了第一阶段的效果,并且略高于第一次。第一阶段自第 16 次开始有明显的放音聚集情况,前 15 次的平均聚集率仅为 2.16%;到第 27 次后趋于稳定,最高聚集率为 64.05%,整个阶段的平均聚集率为 21.45%。在第一阶段的驯化基础上,间隔 18 天后,第二阶段第 1 次实验聚集率仅为 2.75%,但接下来的几次聚集率呈跳跃式增长,只进行了 8 次实验就重新将聚集率提升到第一阶段水平,最大聚集率(第 7 次)比第一阶段高,为 68.05%,该阶段平均聚集率为 43.09%。

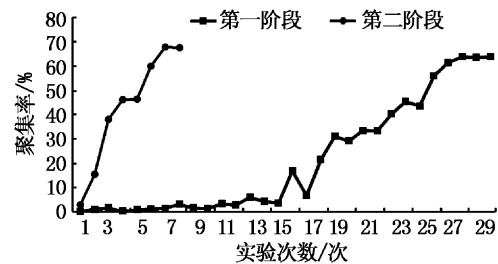


图 6 两阶段音响驯化聚集率对比

Fig. 6 Comparison of aggregating ratios under acoustic taming

由于黑鲷是底层鱼,可以推断有部分黑鲷集中在水下音源下方,但由于自然海域的海水受大、小潮等因素影响,透明度低,即使在小潮水教清澈时,能见度也仅为 60 cm 左右,因此光学设备所获取的网箱内的黑鲷聚集数仅为上浮至表层的,无法观察和记录在较深水层的黑鲷个体,故经过两次驯化的黑鲷聚集率可以达到一定的值,但没有观察到接近 100% 的聚集率。

4 讨论

4.1 驯化用声音的选择

关于鱼类趋音性以及敏感音频频段的研究,国内外多数学者有所涉及^[17]。鱼类多数对低频的声音敏感^[18],黑鲷的最佳感受音为 300 ~ 400 Hz 之间^[19]。由于黑鲷是岩礁性鱼类,礁石附近

是其主要的生息场所,因此提取自然栖息水域的背景噪声作为驯化音频。待建立放音投饵条件反射后,放流入海更能适应自然水域,降低放流黑鲷死亡率。由于音源的响度高于自然水域,因此在一定范围内(随着声音传播范围扩大,强度减弱)海中放驯化音能盖过自然音,不会因为自然环境声音与所放音频近似而使黑鲷无法判断。实验结果表明,用自然水域采集的复杂声波进行音响驯化能使黑鲷对声音产生正趋性。

4.2 鱼群记忆时间讨论

与其它高等脊椎动物相比较,鱼类建立条件反射活动不太容易,但鱼类仍能表现很好的学习能力^[18]。ATKINSON 和 SHIFFRIN^[20]在 1968 年出版的著作中阐述了短期记忆和长期记忆的概念。其中短期记忆保持时间大于 1 s 但不超过一二分钟,常和一定的操作动作相联系,准确的记忆内容伴随操作结束而消失;长期记忆保持时间大于一二分钟,通常能保持较长时间,有的可终生不忘。同一内容经过反复记忆,可以延长记忆时间,把短期记忆转化为长期记忆。相比之下,实验表明,黑鲷存在长期记忆,音响驯化是由短期记忆转化为长期记忆的过程。

文献表明,鱼类的记忆力、识别力都相当高,在某些方面比某些较高等的脊椎动物,甚至灵长类动物还要强。鱼类的学习行为与其它动物的一样呈现出多样化,包括印记、习惯化、条件反射等行为方式^[21]。鱼类音响驯化作为一种通过人为附加音响配合投饵反复刺激鱼群达到记忆的方式,属于条件反射的范畴。而本实验采用将录制的黑鲷生活水域自然音作为音响驯化的音源,又有习惯化的性质,实验结果表明,采取黑鲷习惯的声音反复对其进行强化,能达到理想的驯化效果。

台湾学者于 1980 年 7 月至 1981 年 6 月以罗非鱼和鲤鱼为对象,选用 200 Hz 低频音进行音响驯化,结果表明七到十天内可完成驯化,并且实验鱼对此音频的记忆可持续一个月左右不致遗忘^[22]。以色列学者^[9]用 400 Hz 纯音对黑线鲳进行 28 d 的音响驯化,并在随后时间进行 4 次(每次 54 d)的强化巩固记忆。间隔 6 个月不放音后重新驯化 6 次(17 d 内),鱼群还是能保持高水平的条件反射能力。本研究前后两次音响驯化实验间隔 18 天,中间未进行放音强化,虽然重新开始驯化没有第一阶段实验末期聚集明显,但还是有较明显记忆效果。对于黑鲷记忆与遗忘的临界时间是多少,到底还是没有确切的认知,有待于深入研究。

4.3 室内水槽与网箱音响驯化效果分析对比

本实验在开放水域的网箱里面进行,驯化所耗的时间远长于 2010 年 8 月课题组在西轩岛进行的室内水槽音响驯化,详见表 2。对比开放水域驯化与室内水槽驯化可以发现,由于水槽大小有限,黑鲷放养密度受到制约,室内音响驯化黑鲷数量过少,不适合运用到实际推广,而样本数少却能在较短时间内完成驯化,根据课题组实践经验以及其他学者结论,约为 10 d 左右。而推广到开放水域,由于诸多可预见(潮汐、水温等、浮游生物等)与不可预见的环境因素(暴雨、台风、设备故障等)影响,加上黑鲷数量庞大,驯化所需的时间大大增加,日本学者于 1989 - 1990 年在长崎形上湾进行多个批次的黑鲷音响驯化,数量从 27 524 ~ 95 491 不等,而最大驯化时间达到 90 d,最短的也要 20 d。本实验对同一批黑鲷进行两阶段驯化,总有效驯化时间为 35 d,到第 18 天左右才在音源周围出现较明显的大群聚集。

表 2 室内水槽与开放水域黑鲷音响驯化时长对比
Tab. 2 Contrast of fish acoustic taming duration between tank and open waters

日期	地点	场地类型	数量/尾	驯化时长/d
2002 年 4 月	辽宁大连	室内水槽	40	13
2010 年 8 月	浙江西轩岛	室内水槽	300	9
1989 年 8 月 - 10 月	长崎形上湾	开放水域	70 000 40 000	64
1989 年 8 月 - 10 月	长崎形上湾	开放水域	95 491 27 524	50 ~ 90
1990 年 7 月 - 10 月	长崎形上湾	开放水域	31 360 41 800 30 240	20 ~ 88
2011 年 7 月 - 9 月	浙江象山港	开放水域	2 000	35

开放水域的音响驯化由于总周期长,其放音投饵的条件反射建立势必比水槽中的 10 d 左右要牢固,更有利于放流到海洋牧场区后的放音回召。另外,由于网箱中的水为自然水体,相比水槽中经滤过处理后的海水,黑鲷在放流后更容易适应现实的环境,诸如主动寻找食物、对水体中有害病菌的抵御、躲避天敌等。

而相比开放水域,室内驯化总体周期短,驯化过程更容易控制,不会受到台风、暴雨、海洋污染等自然和人为灾害的影响,并且音响驯化初始阶段的幼鱼在室内水槽环境下存活率更高。

综合考虑,鉴于两种驯化模式各存利弊,可以尝试室内驯化与开放水域的驯化相结合,即先在室内进行音响驯化一定时间,然后转移开放水域网箱中驯化,待目标鱼种符合放流规格,放流到海洋牧场中继续放音配合投饵强化记忆,实现三级驯化。

参考文献:

- [1] ABBOTT R R. Induced aggregation of pond-reared rainbow trout (*Salmo gairdneri*) through acoustic conditioning[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1972, 101(1): 35-43.
- [2] TLUSTY M F, ANDREW J, BALDWIN K, et al. Acoustic conditioning for recall/recapture of escaped Atlantic salmon and rainbow trout[J]. Aquaculture, 2008, 274: 57-64.
- [3] ZION B, BARKI A, GRINSHPON J, et al. Retention of acoustic conditioning in St Peter's fish *Sarotherodon galilaeus*[J]. Journal of Fish Biology, 2011, 78(3): 838-847.
- [4] 安樂和彦,松田宗之,中原真弥,等. 断続音によるマガイ音響馴致効果の検討[J]. 日本水産学会誌, 1997, 63(6): 934-938.
- [5] 岡本昭,池田義弘. 形上湾において音響馴致した放流クロダイの回収率[C]. 长崎县渔业調査研究報告, 1994, 20: 31.
- [6] 岡本昭,池田義弘,川口和宏,等. 形上湾におけるクロダイ種苗の音響馴致と放流後の移動[C]. 长崎县渔业調査研究報告, 1992, 18: 17-22.
- [7] 程明华,徐如彦. 黑鲷音响驯化初步试[J]. 海洋科学, 1989(3): 65-66.
- [8] LEVIN L E, LEVIN A F. Conditioning as an aid to fish harvest[J]. Aquacultural Engineering, 1994, 13(3): 201-210.
- [9] ZION B, KARPLUS I, GRINSHPON J, et al. Periodic reinforcement of acoustically conditioned behavior in St. Peter's fish, *Sarotherodon galilaeus*, for ranching purposes[J]. Aquaculture, 2011, 315(3/4): 394-399.
- [10] ZION B, BARKI A, GRINSHPON J, et al. An automatic fishing machine based on acoustic conditioning[J]. Aquacultural Engineering, 2011, 45(2): 87-91.
- [11] EYNCK J J, ARNOLD M D. Acoustic signal conditioning device: US, 4390976 [EB/OL]. [1983-6-28]. <http://www.google.com.hk/patents?hl=zh-CN&lr=&vid=USPAT4390976&id=LGk-AAAAEBAJ&oi=fnd&dq=acoustic+signal+conditioning+device&printsec=abstract#v=onepage&q&f=false>.
- [12] 包浩生,李植斌. 浙江省港湾区资源及其可持续利用研究[J]. 自然资源学报, 1998, 13(2): 155-156.
- [13] 楼宝,毛国民,骆季安,等. 不同投饵率对黑鲷生长及体生化成分的影响[J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(3): 231-234.
- [14] 孙耀,张波,郭学武,等. 温度对黑鲷(*Sparus macrocephalus*)能量收支的影响[J]. 生态学报, 2001, 21(2): 186-187.
- [15] 范嵩,刘娇,杨轶. 图像识别技术在鱼苗计数方面的研究与实现[J]. 水产科学, 2008, 27(4): 210-212.
- [16] HU Q S, CHEN D H, WANG W D, et al. Fish sound frequency domain analysis and acoustic spread distance experiment research[C]//ZHANG H X, HAN Y, CHEN F X, et al. Applied Mechanics and Materials(Volumes 117-119). Switzerland: Trans Tech Publications, 2011: 716-720.
- [17] 須賀友大. 魚類の聴性誘発反応に関する基礎的研究[J]. 水研センター研報, 平成21年, 2009, 28: 115-169.
- [18] 何大仁. 鱼类行为学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1998: 35.
- [19] 叶明峰. 黑鲷音响驯致之研究[D]. 台湾: 台湾海洋大学渔业研究所, 1992.
- [20] ATKINSON R C, SHIFFRIN R M. Human memory: A proposed system and its control process [M]// The psychology of learning and motivation (Vol. 2). New York: Academic Press, 1968.
- [21] 朱玉蓉. 几种淡水鱼类空间学习与记忆的研究[D]. 上海: 中国科学院水生生物研究所, 2007.
- [22] 赵传纲,唐小曼,陈思行. 鱼类的行动[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 123-124.

Attractive effect of acoustic taming on *Sparus macrocephalus* in a cage

CHEN De-hui¹, LIU Hong-sheng¹, HU Qing-song², WANG Wei-ding³, ZHANG Shou-yu¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Engineering College, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang, Zhoushan 316000, Zhejiang, China)

Abstract: Fish acoustic taming, as one of the technology in the control of fish behavior, have good promotion in fish control in sea ranching. Among the sound sources, habitat waters background sound of target fish-based acoustic taming intends to involve better taming effect. To verify this, habitat waters' background sound of *Sparus macrocephalus* is utilized to conduct the acoustic taming in a cage. The results based on the analysis of data and participant experiment observation showed excellent aggregation effect. Acoustic taming on juvenile *Sparus macrocephalus* needs three stages: acclimatization; impulsion of demanding food (outside sign is that fish reaches certain length and weight); building conditioned reflex between sound and bait. *Sparus macrocephalus* can identify different sounds and maintain longtime memory. As a strengthening method, offshore background sound based acoustic taming is a valid strategy to make fishes shift from short-term memory to long-term memory.

Key words: *Sparus macrocephalus*; acoustic taming; cage; offshore background sound; memory