

DOI: 10.12264/JFSC2020-0106

南海灯光罩网渔业中点斑原海豚的声波驱赶

王腾¹, 张鹏¹, 李杰¹, 傅伟杰², 谢斌³, 晏磊¹, 杨炳忠¹

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部外海渔业开发重点实验室, 广东 广州 510300;

2. 厦门大学海洋与地球学院, 福建 厦门 361102;

3. 滨海湿地生态系统教育部重点实验室, 厦门大学环境与生态学院, 福建 厦门 361102

摘要: 灯光罩网是南海外海的一种主要捕捞方式, 夜晚作业时点斑原海豚(*Stenella attenuata*)常常聚集在渔船周围进行捕食活动, 导致被网具兼捕死亡。本研究研发宽带声波驱豚系统, 分别于 2019 年 5 月 19 日和 28 日在南海进行海上试验, 确定了驱赶点斑原海豚的有效频段, 定量评估了驱豚效果。研究结果表明: 1~10 kHz 的线性调频信号对点斑原海豚有一定的驱赶作用。2 次试验系统开启前的海豚单体信号数目小于开启后, 而离船平均间距大于开启后, 即海豚远离了调查船; 5 月 28 日试验时, 系统开启后 3 个阈值均没有检测到疑似单体信号, 即在离船 120 m 范围内, 无点斑原海豚存在。系统开启前后 20 min, 垂直声学映像中各单元格的平均 NASC 值存在显著性差异 ($P<0.05$), 且开启前的 NASC 要小于开启后。通过海上试验, 本研究验证了宽带声波驱豚系统的有效性, 初步确定了驱赶点斑原海豚的有效声波频段与脉冲模式, 然而本研究还有一些不足之处, 需要进行更多的试验予以完善, 以便于未来的推广应用。

关键词: 灯光罩网; 点斑原海豚; 声波驱赶; 南海

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)03-0348-07

灯光罩网是 20 世纪 90 年代初在南海北部出现并迅速发展起来的一种新型渔具渔法, 主捕头足类及趋光性鱼类^[1-2]。点斑原海豚(*Stenella attenuata*)作为国家二级保护动物, 广泛分布于中国南海海域, 夜间常常聚集在罩网渔船周围进行捕食活动^[3]。随着罩网渔业的快速发展, 该海豚被罩网兼捕死亡的现象时有发生。以南海水产研究所的罩网渔船生产调查为例: 2015 年 3 月在南沙群岛海域共有 20 头点斑原海豚被兼捕死亡, 2017 年 8 月在南海西部共有 18 头点斑原海豚被兼捕死亡; 此外在渔民中走访调查发现, 多数罩网渔船在南海兼捕过该海豚。针对点斑原海豚在罩网渔业中的兼捕现状, 有必要开展相应的驱赶研究: 一方面, 可减少罩网渔船的兼捕, 保护其种群规模; 另一方面, 可减少该海豚对罩网渔获物的驱赶与捕食,

提高渔获产量, 实现生态效益和经济效益的双赢。

减少渔业活动对海豚的兼捕主要有以下 3 种方法: (1)建立自然保护区, 限制渔船进入作业(如珠江口中华白海豚自然保护区)^[4]; (2)改变渔船作业类型或改进网具(如金枪鱼围网部分网段使用大网目尺寸)^[5]; (3)使用声波驱赶海豚(如国外刺网渔业使用的声波驱豚装置)^[6]。从可行性与成本角度综合考虑, 使用声波驱赶海豚是渔民最为接受的方式, 可在不增加网具改进成本的同时, 减少海豚兼捕^[6]。

国外研究人员使用声波驱豚设备, 发射声波干扰信号, 使海豚受到“惊吓”, 驱赶其远离渔船^[7-10]。但由于不同种类、不同地区的海豚对声波信号的敏感度差异较大^[11], 即直接引进国外驱豚设备并应用于中国南海, 其实际效果有待商榷。因此, 本

收稿日期: 2020-04-16; 修订日期: 2020-06-04.

基金项目: 农业农村部财政专项项目(NFZX2018); 农业农村部外海渔业开发重点实验室开放基金项目(LOF 2019-04).

作者简介: 王腾(1989-), 男, 助理研究员, 研究方向为渔业资源声学评估. E-mail: twangshanghao@163.com

通信作者: 张鹏, 副研究员, 研究方向为渔业资源学. E-mail: trawl@126.com

研究参考国内外相关文献^[12-13], 研发声波驱豚系统, 通过一系列海上试验, 定量评估驱豚效果, 以期减少罩网渔船的兼捕、推动声波驱豚在罩网渔业中的广泛应用奠定技术基础。

1 材料与方法

1.1 试验地点

海上试验依托海洋渔业调查船“中渔科 301”, 主机功率 800 kW, 总吨位 398 Gt, 总长 42.8 m, 型宽 8 m, 型深 5.2 m。调查船白天航行, 夜间进行罩网作业, 根据作业时的点斑原海豚聚集情况决定是否试验。本研究共进行了 2 次试验, 时间分别为 2019 年 5 月 19 日与 5 月 28 日, 位置详见图 1。

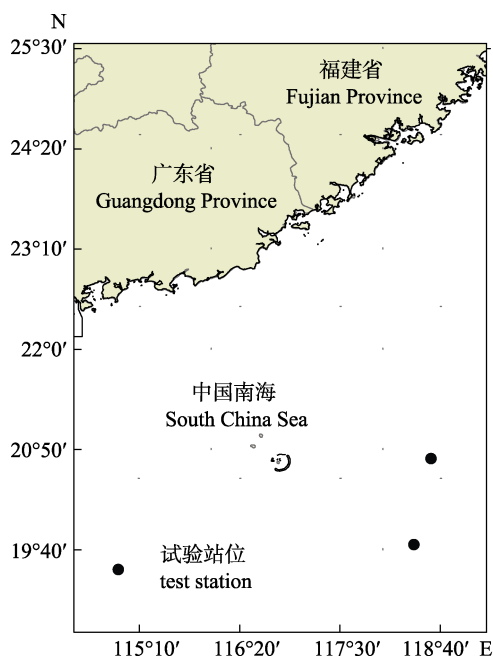


图 1 海上声波驱赶海豚试验位置示意图
Fig. 1 Test stations for deterrent *Stenella attenuate*

1.2 声波驱豚系统

在查阅国内外相关文献的基础上^[11-13], 联合厦门大学水声通信与海洋信息技术教育部重点实验室, 设计并制作了声波驱豚系统, 包括信号发生控制器、A/D 转换器、功率放大器和换能器(图 2), 其中信号发生控制器基于 Labview 编写的信号产生及控制程序, 可实现信号的类型选择以及信号参数的自由设置与编辑。功率放大器用于提升发射声波的功率, 保证驱赶设备达到足够大的源级。

换能器用于实现将模拟电信号转化为声信号并辐射于水环境中。本系统发射的信号为线性调频 (LFM) 信号, 功率放大器最大输出功率为 80 W, 水声换能器发射声功率为 12 W, 由于使用的是宽带功率放大器, 在 DC~1 MHz 频带内均有良好放大作用, 因此发射的各频段声信号的声源级大小基本相同, 实测可达 180 dB re 1 μ Pa; 所用水声换能器组包括 2 个水声换能器, 工作频段分别是 20 Hz~20 kHz 与 20~40 kHz, 可发射的声波频带范围覆盖 20 Hz~40 kHz; 各换能器水平方向均无指向性, 垂直方向指向角为 $\pm 40^\circ$ 。

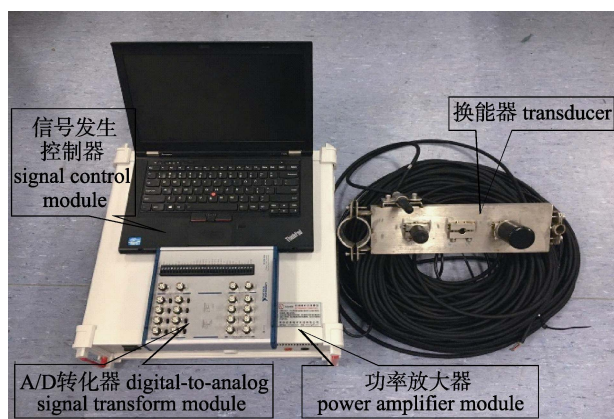


图 2 声波驱赶点斑原海豚系统终端设备
Fig. 2 Acoustic dolphin deterrent system

1.3 海上试验方法

夜晚调查船开灯后, 点斑原海豚常常聚集在周围, 部分海豚离船 10~30 m, 驱豚声波信号发射后, 可根据对海豚行为的直接观察来定性评估信号驱豚效果。将信号收发模块置于水下 5 m 深度处, 当观测到点斑原海豚聚集后, 发射一定频段的脉冲信号(如 1~10 kHz、10~20 kHz、20~30 kHz 等)。参考牛富强等^[14]的研究, 每个频段信号连续发射 20 min, 观察记录这期间的海豚行为。如果海豚没有明显远离调查船, 则记录该频段无效, 然后继续测试下个频段。如果海豚远离调查船(从观察视野中消失), 则记录该频段为潜在有效频段, 然后关闭系统 30 min^[14], 观察点斑原海豚是否重新聚集。若海豚重新聚集则再次测试该信号频段, 根据海豚是否再次远离来验证试验频段的有效性; 若不聚集则结束本次试验, 待下次驱豚试验是再进行验证。

1.4 声音映像采集

在定性评估的基础上,本研究还基于 2 个方向的声学映像以定量评估驱豚效果,其中垂直方向的声学映像基于船载 EK60 探鱼仪采集(38 kHz、120 kHz),通过对比系统开关前后 20 min,罩网作业深度内(10~50 m)的声学散射系数 NASC (nautical area scattering coefficient, NASC, m²/nmi²)来定量评估。水平方向的声学映像基于便携式 EY60 (120 kHz)探鱼仪采集(部分映像如图 3),本研究设计了换能器水平固定装置,以确保映像的成功采集(图 4);通过对比系统开关前后 20 min,

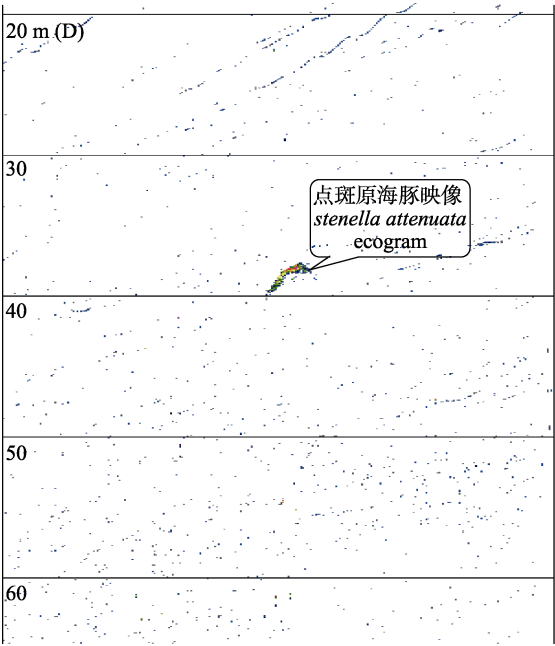


图 3 EY60 探鱼仪采集的点斑原海豚部分声学映像
Fig. 3 Part of the dolphin ecogram collected by EY60 transducer



图 4 换能器水平固定装置
Fig. 4 Transducer horizontal fixture device

点斑原海豚的单体信号数目及离船平均距离来定量评估。2 套探鱼仪均使用国际通用的“标准球”方法进行校正^[15],校正时间为 2018 年 8 月 16 日,地点为广东省万山岛海域。EK60 与 EY60 探鱼仪的主要参数详见表 1 与表 2。

表 1 EK60 换能器参数设置
Tab. 1 Main settings of EK60 transducer

参数 parameter	换能器设置 transducer setting	
换能器型号 transducer type	ES38B	ES120-7C
波束频率 beam frequency	38k Hz	120 kHz
脉冲宽度/ms pulse length	1.024	1.024
脉冲间隔/s pulse duration	1	1
功率/W power	2000	500
波束等效立体角/dB equivalent beam angle	-21.00	-21.00
换能器增益/dB transducer gain	26.8	27
吸收系数/(dB/m) absorption coefficient	0.007	0.043

表 2 EY60 换能器参数设置
Tab. 2 Main settings of EY60 transducer

参数 parameter	换能器设置 transducer setting
换能器型号 transducer type	ES120-7C
波束频率/kHz beam frequency	120
脉冲宽度/ms pulse length	1.024
脉冲间隔/s pulse duration	1
功率/W power	500
波束等效立体角/dB equivalent beam angle	-21.00
换能器增益/dB transducer gain	27
吸收系数/(dB/m) absorption coefficient	0.045

1.5 声学映像处理

使用 Ecoview (v6.1, Echoview Software Pty. Ltd., 澳大利亚)软件处理 120 kHz 的声学映像。根据 2 套探鱼仪的吃水深度与罩网作业深度,本研究选取 10~50 m 范围内的垂直声学映像与 6~120 m 范围内的水平声学映像,使用多种过滤变量去除噪声^[16]。垂直映像去噪后,划分为 2 min× 10 m 的积分单元,输出每个单元的 NASC 值,然后使用 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 检验和 Kruskal-Wallis (K-W)检验分析系统开关前后 NASC 的差异性;

显著性水平均为 0.05, 当 2 种检验结果均显著时 ($P<0.05$), 认定存在显著性差异。水平映像去噪后, 提取点斑原海豚的单体信号。

1.6 点斑原海豚单体信号提取

设定不同目标强度阈值, 使用“单体检测 (single target detection)”变量, 提取水平映像中的点斑原海豚单体信号, 检测方法为“分裂波束-方法 2 (split beam-method 2)”, 检测参数详见表 3^[17]。

表 3 单体目标检测参数
Tab. 3 Single target detection parameters

参数 parameter	设置 setting
目标强度阈值/dB minimum TS threshold	-35/-30/-25
脉冲宽度确定水平/dB pulse length determination level	6
最小标准脉宽 minimum normalized pulse length	0.75
最大标准脉宽 maximum normalized pulse length	1.5
最大波束补偿/dB maximum beam compensation	4
最小回波长度 minimum echo length	0.8
最大回波长度 maximum echo length	1.8
最大相位偏差 maximum phase deviation	8
单体检测方法 single target detection method	分裂波束-方法 2

表 4 系统开启前后 20 min 点斑原海豚单体信号

Tab. 4 Signal of *Stenella attenuata* within 20 min before and after the system work

试验日期 date	TS 阈值/dB TS threshold	系统开启前 20 min 20 min before system work				系统开启后 20 min 20 min after system work			
		单体信号 数目/个 single number	TS 范围/dB TS range	离船距离 范围/m range from vessel	平均 距离/m mean range	单体信号 数目/个 single number	TS 范围/dB TS range	离船距离 范围/m range from vessel	平均 距离/m mean range
5 月 19 日 May 19	-35	10	-33- -17	27-95	54	4	-31- -29	73-117	95
	-30	8	-32- -20	27-68	47	3	-31- -29	73-117	97
	-25	5	-24- -20	41-68	55	0	-	-	-
5 月 28 日 May 28	-35	11	-30- -22	11-103	60	0	-	-	-
	-30	10	-26- -22	11-103	56	0	-	-	-
	-25	8	-24- -22	11-96	52	0	-	-	-

表 5 系统开启前后 20 min 垂直积分单位的平均 NASC

Tab. 5 mean NASC of vertical units within 20 min before and after the system work

时间 date	系统开启前 20 min 20 min before system work	系统开启后 20 min 20 min after system work	差异性 difference
5 月 19 日 May 19	19.44	36.70	$P<0.05$
5 月 28 日 May 28	18.58	32.41	$P<0.05$

3 讨论

国外在渔业领域中的海豚驱赶与保护研究开

2 结果与分析

2.1 驱豚有效频段

5 月 19 日的试验结果表明: 30~40 kHz、20~30 kHz, 10~20 kHz 频段的调频信号无明显驱豚效果; 1~10 kHz 的调频信号发射后海豚迅速远离调查船, 20 min 后关闭系统, 之后未见海豚重新聚集。在第 1 次试验的基础上, 5 月 28 日进行了第 2 次试验, 重点测试 1~10 kHz 的调频信号, 结果表明: 点斑原海豚在信号发射后迅速远离调查船, 关闭系统约 30 min 后海豚重新聚集, 再次发射该频段信号, 海豚再次远离。

2.2 声学映像处理

水平声学映像处理结果表明: 2 次驱赶试验, 系统开启前 20 min 内的海豚单体信号数目大于开启后, 而离船平均距离小于开启后(表 4), 且 5 月 28 日系统开启后没有检测到单体信号, 即在离船 120 m 范围内, 无点斑原海豚存在。垂直声学映像处理结果表明: 系统开启前后 20 min 内垂直映像积分单位的平均 NASC 值存在显著性差异 ($P<0.05$), 且开启前的 NASC 小于开启后(表 5)。

展较早^[18], 主要集中在刺网渔业, 如加利福尼亚湾刺网渔业、缅甸湾刺网渔业, 丹麦北海刺网渔业等^[19-21]。灯光罩网是南海的一种主要作业方式,

捕捞过程中时常兼捕到点斑原海豚。本研究使用声波驱豚系统,进行海上驱豚试验,发现 1~10 kHz 的线性调频信号对点斑原海豚有一定的驱赶作用。

试验过程中,通过对海豚行为的直接观察,可定性评估驱豚效果,但是要建立一种科学的驱豚方法,还需要有定量的评估结果。刺网渔业中,研究人员采用多种方法定量评估声波驱赶效果:(1)使用水听器采集驱豚仪附近的海豚回波定位信号,对比驱豚前后的信号数目及信号与驱豚仪的平均间距定量评估^[22]; (2)通过研究人员的视觉观察与经纬仪,记录驱豚仪白天一定时空范围内的海豚数目及运动轨迹,对比驱豚前后的海豚个数及海豚与驱豚仪的最小间距(closest observed approach, COA)来定量评估^[23]; (3)对比驱豚前后的刺网渔获情况来定量评估,但本方法的受限因素较多,准确性较差^[24]。由于罩网渔船在夜晚作业,即无法通过视觉观察的方法定量评估;本研究 2 次试验结束后没有再次进行罩网作业,也不能根据渔获情况的对比来定量评估;此外本研究使用的水听器也没有采集到充足有效的点斑原海豚回波定位信号,可能是因为试验时间较短或水听器性能有限,未来可延长试验时间以便于信号采集。

除了上述方法之外,本研究根据探鱼仪采集的声学映像来定量评估驱赶效果。罩网作业时,点斑原海豚常常聚集在渔船周围驱赶与捕食渔获物,当其被驱离时,渔获物会在灯光的吸引下重新聚集在渔船下方,本研究中系统开启前垂直映像积分单元的平均 NASC 值要小于开启后,表明罩网作业深度内的鱼类数量有所增加;此外,系统开启前水平映像中的海豚单体信号数目大于开启后,离船平均距离小于开启后,表明海豚被驱离了调查船。单体信号检测的关键是确定检测阈值, Au 等^[12]使用 EK60 探鱼仪(70 kHz、120 kHz 与 200 kHz)采集了大西洋宽吻海豚的声学映像,通过检测海豚的单体信号,得到 3 个频率下的海豚平均目标强度分别为-26 dB、-34 dB、-40 dB。张波等^[13]采用比较法测得鼠海豚对 75 kHz 的声波反向散射目标强度为-25.8 dB。本研究参考上述文献,设定了 3 个检测阈值(-35 dB、-30 dB、

-25 dB),检测结果均表明了驱豚的有效性(表 4),但未来还需要进行更多次的试验予以完善。

国外刺网渔业使用的声波驱豚设备的声源级范围为 132~174 dB re 1 μ Pa, 频率范围 20~160 kHz^[6], 本研究所用设备的声源级为 180 dB re 1 μ Pa, 工作频率为 20 Hz~40 kHz。本设备的声源级高于国外驱豚设备,表明本设备发射的声波信号强度更大,对海豚的驱赶效果更明显;但信号频率范围相比较窄,无法发射高频信号,不能研究高频信号是否对点斑原海豚有驱赶效果,将来可通过加装高频换能器以完成高频信号的驱豚试验。

国外研究表明海豚对驱赶信号有一定的适应性, Palka 等^[25]在美国华盛顿州海域进行了 3 个月的刺网驱豚试验,共兼捕了 12 头港湾鼠海豚(*Phocoena phocoena*),其中的 11 头兼捕发生在试验的最后 2 周,表明本海域的港湾鼠海豚可能已经适应了驱赶信号。Cox 等^[26]使用 Netmark 1000 驱豚仪(中心频率 10 kHz)持续驱赶港湾鼠海豚,发现该海豚的驱赶距离在第 4 天时减少了一半,到第 11 天时已经完全适应了驱赶信号。Carlström 等^[8]进行了类似研究,发现随着刺激时间的延长,港湾鼠海豚在驱豚仪附近出现的频次增加,表明该海豚对驱赶信号已经形成了一定的适应。本研究的试验时间较短,未来可进行更长时间的试验以研究南海点斑原海豚的声信号适应性。

驱豚仪对海豚的驱赶,可能导致其远离栖息地,然而在大尺度范围上,这种驱赶影响并不显著,如 Larsen 等^[21]发现,丹麦北海的刺网渔业只影响到了<1%的港湾鼠海豚栖息地, Northridge 等^[27]的研究表明,英格兰西南部的刺网即使全部使用驱豚仪器,也只能影响<1%的海豚栖息地,且每个驱豚仪的影响范围 ≤ 2 km。因此,大尺度范围的海豚驱赶对其栖息地的影响可忽略不计。罩网渔船通常在外海开阔海域作业,且点斑原海豚的活动范围也较广,即本研究不会影响到该种群的正常栖息。

海洋哺乳动物在渔业中的驱赶是当今研究热点,也是国际水产品进出口谈判的关键,具有重要的科学意义^[28-30]。本研究可弥补我国在渔业领域声波驱豚方面的不足,具有一定的可行性,未

来通过实验室或水族馆条件下的驱赶试验的补充,可完善建立基于声波信号的点斑原海豚的驱赶技术,并在罩网渔业中广泛推广使用。

参考文献:

- [1] Zhang P, Zeng X G, Yang L, et al. Analyses on fishing ground and catch composition of large-scale light falling-net fisheries in South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2013, 9(3): 74-79. [张鹏, 曾晓光, 杨吝, 等. 南海区大型灯光罩网渔场渔期和渔获组成分析[J]. 南方水产科学, 2013, 9(3): 74-79.]
- [2] Yang Q, Li Y Z, Zhang P, et al. Acoustic survey of the *Symplectoteuthis oualaniensis* resources in the South China Sea based on light falling-net[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(7): 1032-1039. [杨权, 李永振, 张鹏, 等. 基于灯光罩网法的南海鳶乌贼声学评估技术研究[J]. 水产学报, 2013, 37(7): 1032-1039.]
- [3] Qin C Y, Fang Z Q, Zhou H Y, et al. Contents and evaluation of heavy metals in Pantropical spotted dolphin from Beibu Bay in South China Sea[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2009, 28(2): 192-198. [秦春艳, 方展强, 周海云, 等. 北部湾海域热带点斑原海豚体内的重金属含量测定与评价[J]. 台湾海峡, 2009, 28(2): 192-198.]
- [4] Zhou B, Zhang J Z, Zhou R. Study on influence of Tonggu Channel channel construction project on Zhujiang estuary Chinese white dolphin nature reserve[J]. Ocean Technology, 2007, 26(2): 38-41. [周斌, 张继周, 周然. 铜鼓航道建设对珠江口中华白海豚自然保护区的环境影响研究[J]. 海洋技术, 2007, 26(2): 38-41.]
- [5] Yang L. Selected fishing technology to reduce bycatch[J]. Modern Fisheries Information, 2005, 20(4): 6-8, 12. [杨吝. 减少副渔获物的选择性捕捞技术[J]. 现代渔业信息, 2005, 20(4): 6-8, 12.]
- [6] Dawson S M, Northridge S, Waples D, et al. To Ping or not to Ping: The use of active acoustic devices in mitigating interactions between small cetaceans and gillnet fisheries[J]. Endangered Species Research, 2013, 19(3): 201-221.
- [7] Gazo M, Gonzalvo J, Aguilar A. Pingers as deterrents of bottlenose dolphins interacting with trammel nets[J]. Fisheries Research, 2008, 92(1): 70-75.
- [8] Carlström J, Berggren P, Dinnézt F, et al. A field experiment using acoustic alarms (pingers) to reduce harbour porpoise by-catch in bottom-set gillnets[J]. ICES Journal of Marine Science, 2002, 59(4): 816-824.
- [9] Tregenza N J C, Berrow S D, Hammond P S, et al. Harbour porpoise (*Phocoena phocoena* L.) by-catch in set gillnets in the Celtic Sea[J]. ICES Journal of Marine Science, 1997, 54(5): 896-904.
- [10] Cox T M, Lewison R L, Žydelis R, et al. Comparing effectiveness of experimental and implemented bycatch reduction measures: The ideal and the real[J]. Conservation Biology, 2007, 21(5): 1155-1164.
- [11] Kastelein R A, Jennings N, Verboom W C, et al. Differences in the response of a striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*) and a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) to an acoustic alarm[J]. Marine Environmental Research, 2006, 61(3): 363-378.
- [12] Au W W L, Houser D S, Dankiewicz L A. Acoustic backscatter from a diving dolphin[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2007, 121(5): 3106.
- [13] Zhang B, Ma Z C, Liu W Z. Theoretical and experimental studies of the scattering characteristic of dolphin[J]. Applied Acoustics, 2010, 29(2): 122-128. [张波, 马忠成, 刘文章. 海豚声散射特性的理论建模及实验研究[J]. 应用声学, 2010, 29(2): 122-128.]
- [14] Niu F Q, Xu X M, Yang Y M, et al. Behavioral responses of captive bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) to a continuous 20 kHz pure tone[J]. Acta Acustica, 2012, 37(6): 595-600. [牛富强, 许肖梅, 杨燕明, 等. 圈养瓶鼻海豚对 20 kHz 连续声信号的行为响应研究[J]. 声学学报, 2012, 37(6): 595-600.]
- [15] Foote K G, Knudsen H P, Vestnes G, et al. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: A practical guide[R]. ICES Cooperative Research Report, 1987, No. 144: 1-69.
- [16] Tarling G A, Klevjer T, Fielding S, et al. Variability and predictability of Antarctic krill swarm structure[J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2009, 56(11): 1994-2012.
- [17] Bernasconi M, Nøttestad L, Axelsen B E, et al. Acoustic observations of dusky dolphins *Lagenorhynchus obscurus* hunting Cape horse mackerel *Trachurus capensis* off Namibia[J]. Marine Ecology Progress Series, 2011, 429: 209-218.
- [18] Kraus S O. The once and future Ping: Challenges for the use of acoustic deterrents in fisheries[J]. Marine Technology Society Journal, 1999, 33(2): 90-93.
- [19] Barlow J, Cameron G A. Field experiments show that acoustic pingers reduce marine mammal bycatch in the California drift gill net fishery[J]. Marine Mammal Science, 2003, 19(2): 265-283.
- [20] Kraus S D, Read A J, Solow A, et al. Acoustic alarms reduce porpoise mortality[J]. Nature, 1997, 388(6642): 525.
- [21] Larsen F, Eigaard O R. Acoustic alarms reduce bycatch of harbour porpoises in Danish North Sea gillnet fisheries[J]. Fisheries Research, 2014, 153: 108-112.
- [22] Carlström J, Berggren P, Tregenza N J C. Spatial and tem-

- poral impact of pingers on porpoises[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2009, 66(1): 72-82.
- [23] Johnston D W. The effect of acoustic harassment devices on harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in the Bay of Fundy, Canada[J]. Biological Conservation, 2002, 108(1): 113-118.
- [24] Gazo M, Gonzalvo J, Aguilar A. Pingers as deterrents of bottlenose dolphins interacting with trammel nets[J]. Fisheries Research, 2008, 92(1): 70-75.
- [25] Palka D L, Rossman M C, VanAtten A S, et al. Effect of pingers on harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) bycatch in the US Northeast gillnet fishery[J]. Journal of Cetacean Research and Management, 2008, 10(3): 217-226.
- [26] Cox T M, Read A J, Solow A, et al. Will harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) habituate to pingers?[J]. Journal of Cetacean Research & Management, 2001, 3(1): 81-96.
- [27] Northridge S, Coram A, Kingston A, et al. Disentangling the causes of protected-species bycatch in gillnet fisheries[J]. Conservation Biology, 2017, 31(3): 686-695.
- [28] Daly J N, Harrison J. The Marine Mammal Protection Act: A regulatory approach to identifying and minimizing acoustic-related impacts on marine mammals[C]//The Effects of Noise on Aquatic Life. New York: Springer, 2012, 730: 537-539.
- [29] Dolman S J, Green M, Gregerson S, et al. Fulfilling EU laws to ensure marine mammal protection during marine renewable construction operations in Scotland[C]//The Effects of Noise on Aquatic Life II. New York: Springer, 2016, 875: 223-230.
- [30] Benson E. Endangered science: The regulation of research by the U.S. Marine Mammal Protection and Endangered Species Acts[J]. Historical Studies in the Natural Sciences, 2012, 42(1): 30-61.

Acoustic deterrent of pantropical spotted dolphins (*Stenella attenuata*) from light-falling net fisheries in the South China Sea

WANG Teng¹, ZHANG Peng¹, LI Jie¹, FU Weijie², XIE Bin³, YAN Lei¹, YANG Bingzhong¹

1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510300, China;
2. College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361102, China;
3. Key Laboratory for Coastal and Wetland Ecosystems, Ministry of Education; College of the Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen 361102, China

Abstract: The use of light-falling nets is an important fishing method in the South China Sea. Pantropical spotted dolphins (*Stenella attenuata*) often gather around fishing vessels using light-falling nets for predatory activities at night, leading to accidental injuries and even death. In this study, we used a wide-band acoustic system to deter pantropical spotted dolphins from the fishing vessels. After two tests, the effective deterrent frequency was determined, and the deterrent effect was quantitatively evaluated. The results indicate that a 1–10 kHz linear frequency modulation signal could deter pantropical spotted dolphins. The number of dolphin signals and the average distance between dolphins and vessels were greater after the signal launch. On May 28, no suspected dolphin signals were detected at the three thresholds. In addition, by analyzing and comparing the nautical area scattering coefficient (NASC) value of each cell in the vertical acoustic ecogram, we found that there were significant differences in the NASC values of each cell before and after the dolphin deterrent was applied ($P < 0.05$), and the mean NASC value was larger after the deterrent was used. This study has verified the effectiveness of a wide-band acoustic dolphin deterrent system, and established a preliminary protection method for the pantropical spotted dolphin in the light-falling net fisheries in the South China Sea. However, this study has some limitations, and further studies are needed to improve this method in the future.

Key words: light-falling net; *Stenella attenuate*; acoustic deterrent; South China Sea

Corresponding author: ZHANG Peng. E-mail: trawl@126.com