

白暨豚的发声及其与环境适应的初步研究

王 丁 刘仁俊 陈佩薰

(中国科学院水生生物研究所,武汉)

王治藩 卢文祥 杨叔子

(华中理工大学,武汉)

提 要

本文报道了人工饲养条件下白暨豚的发声、发声信号的类型和信号参数及其与环境适应的关系。随着生活环境或其他条件的改变,白暨豚发生信号的类型,发声的多寡等发生有规律的变化。可根据这些规律判别白暨豚对环境的适应程度,所处的状态及性周期的发生等等。为白暨豚的人工饲养及种群保护等提供科学依据。并为其声呐系统的研究打下良好的基础。

关键词 白暨豚,声信号,环境适应

鲸类的祖先是陆生动物。它们在陆上生活时,是用眼睛也就是用光作为观察周围环境的主要手段。当它们由于环境的变迁被迫回到水中生活后,眼睛的作用显然是有限了。因为在水中光吸收很快,传播距离有限,鲸类不能有效的利用视力观察环境。为了适应这种生活环境的变迁,在长期的进化过程中,鲸类发展了一套十分精巧、有效的声呐系统。借助于这套声呐系统,能迅速的辨别环境、逃避敌害、捕获食物、识别目标、通信联络,以维持自身的繁衍生息。仅生存于我国长江中下游的稀珍淡水豚类白暨豚(*Lipotes vexillifer*)终生生活于混浊的江水之中,江水能见度极低,视力的作用就更是有限。据研究,白暨豚的视神经很不发达,视力很差^[3]。利用视力去捕捉食物、逃避敌害、维持生存已不可能。这时,声信号就成了白暨豚观察环境的主要手段。因此,研究白暨豚的发声、发声信号的类型及其与环境和环境适应之间的关系,对于白暨豚的人工养殖、物种保护和揭示白暨豚声呐系统的奥秘并为仿生学的研究提供宝贵的科学资料等具有重大意义。

实 验 方 法

实验在人工饲养条件下进行。实验对象的简单情况如表1所示:

表1 实验对象情况简表

Tab. 1 Specifications of the Experimental Dolphins

名称 Name	性别 Sex	体长 Body Length (cm)	体重 Body Weight (kg)	测量日期 Date of measurement	捕获日期 Date of capture
淇淇 Qi Qi	♂	202.5	116	April 24, 1986	January 12, 1980
珍珍 Zhen Zhen	♀	152	59	April 21, 1986	March 31, 1986
联联 Lian Lian	♂	203.5	100	April 21, 1986	March 31, 1986

注：联联于1986年6月13日因病死亡。Note: Lian Lian died of illness on 13th June, 1986.

实验方法主要是信号的记录和行为观察，包括笔录、口述同步录音、摄像等同步进行。然后对照信号的分析结果和行为观察记录，分析白暨豚在各种不同环境条件下的发声、发声的多少、发声信号的类型等变化，分析、判断发声与环境和环境适应之间的关系。信号的记录系统由水听器（型号 B&K 8100）和磁带记录仪（型号 SR-30C）组成。水听器可用频率范围为 0—125kHz，磁带机可用频率为 0—150kHz。信号的分析是根据信号的特点分别在信号处理专用机 7T08S 和 APPLE-II 微计算机信号分析系统上进行。分析方法包括常规的 Fourier 谱分析法和最大嫡谱分析法。

声信号的类型

信号分析结果及行为观察表明，根据白暨豚声信号的物理特征和行为功能，人工饲养条件下白暨豚的声信号可分为以下两大类¹⁾：

（一）通信信号

这类信号中有的明显具有通信的功能；有的却是豚独处时发出的信号，和豚的情绪活动有关。而情感表达也是一种通信，根据这种观点将下述信号归于一类。这类信号共同的物理特征是能量主要集中在声频范围，频带较窄。而持续时间则长短不一。有的可在空气中发生。

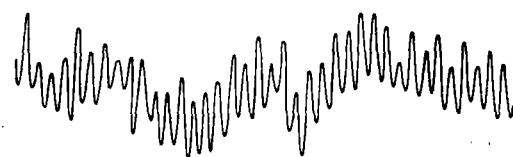
1. 呼叫声 这类信号持续时间变化范围不大，一般为 0.13—0.32 秒，平均 0.26 秒左右。频带较窄，峰值频率 12 千赫兹左右。这一信号是从一豚寻找另外一豚时记录到的，故命名为呼叫声。一段典型的信号及其频谱如图 1 所示。

2. 哟叫声 此信号持续时间较短，峰值频率 1 千赫兹左右。主要发生在豚玩耍时。如用身体摩擦水听器，并在水听器周围上下起伏。我们认为这一信号表现了白暨豚优闲自在的情绪。由于象牛之哞叫，故命名为哟叫声，其波形及其频谱如图 2 所示。

3. 吱吱声（或称哨叫声） 这类信号可分别在水下或空气中发生。水下“吱吱”声持续时间较长，一般为 1.6 秒左右，而空气中“吱吱”声则相对较短。频率十分单调，几乎是纯

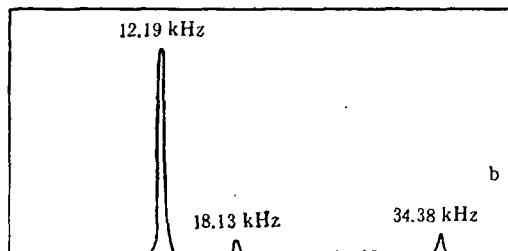
1) 王丁、卢文祥、王治藩, 1986。《淡水豚生物学及物种保护国际学术讨论会》会议资料。

音信号。峰值频率 7.6 千赫兹左右。这类信号主要发生在豚十分兴奋的时刻。而且到目前为止,只从在人工饲养条件下生活了 7 年多,性成熟的雄性白暨豚“淇淇”身上记录到了这一信号。有时“淇淇”沿池壁快速游动,尾鳍大幅度上下摇动,搅起大浪,这时可能在水下发出“吱吱”声。且持续时间较长,强度较大,即使观察者站在距水面 2 米以上的池子周围都感觉声音尖锐,刺耳;有时“淇淇”身体扭曲或直立,头伸出水面,左右用力摆动,猛烈拍击水面激起阵阵水花,同时发出很短促的“吱吱”声;有时“淇淇”腹部贴墙,上半身伸出水面,尾鳍用力拍击墙壁,甚至可见阴茎伸出体外,同时在空气中发出短促的“吱吱”声。这些是豚精神亢奋,情绪激动和性兴奋的表现(图 3)。

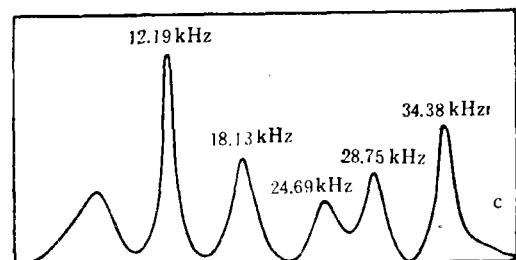


a

0.32ms



b



c

图 1 (a) 呼叫声的一段时域波形图(32 微秒/毫米);
(b) 该段波形的富里叶功率谱;
(c) 最大嫡谱功率
谱

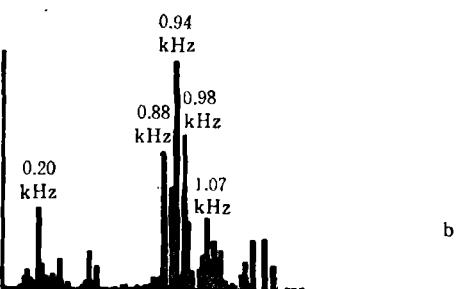
Fig. 1 (a) Oscillogram of a time slice of call signal ($32\mu s/mm$); (b) its Fourier power spectrum;
(c) its ME power spectrum

出水面,尾鳍用力拍击墙壁,甚至可见阴茎伸出体外,同时在空气中发出短促的“吱吱”声。这些是豚精神亢奋,情绪激动和性兴奋的表现(图 3)。



a

5ms



b

图 2 (a) 哀叫声的一段时域波形图(0.5 毫秒/毫米);
(b) 该段波形的富里叶功率谱

Fig. 2 (a) Oscillogram of a time slice of bellow ($0.5ms/mm$); (b) its Fourier power spectrum

4. 呼救声 在豚感到恐惧时,会发出一种十分类似于“吱吱”声的声信号,根据这种信号发生的特定条件,我们称之为呼救声。

(二) 回声定位信号

“的答声”即为白暨豚的回声定位信号。亦即声呐信号。为一个彼此相似的多个窄脉冲组成的脉冲串序列。其共同的物理特征是信号频带较宽,能量主要集中在超声范围。脉

冲串的脉冲间隔、脉冲宽度、脉冲个数及持续时间、峰值频率等与豚所处的状态及豚与水

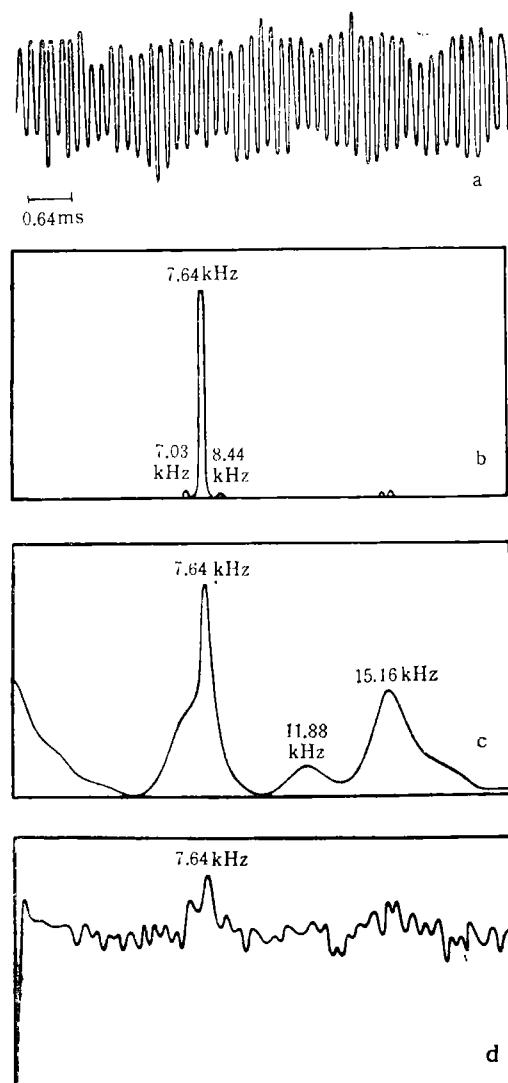


图3 (a) 吱吱声(或称哨叫声)的一段的时域波形图(64微秒/毫米); (b) 该段波形的富里叶功率谱; (c)最大嫡功率谱; (d) 对数功率谱。

Fig. 3 (a) Oscillogram of a time slice of squeak (whistle) ($64\mu s/mm$); (b) its Fourier power spectrum; (c) its ME power spectrum; (d) its Log. power spectrum.

听器的相对位置之间有一定的关系。这类信号是白暨豚观察环境、捕捉食物的主要手段，也是它们赖以生存的基础。通过这类信号的发射及其反射回波的接收和分析，白暨豚就可以获得待测目标的有关信息，借此作出适当的反应。图4表示了一个“的答声”脉冲串的一部分及其频谱。

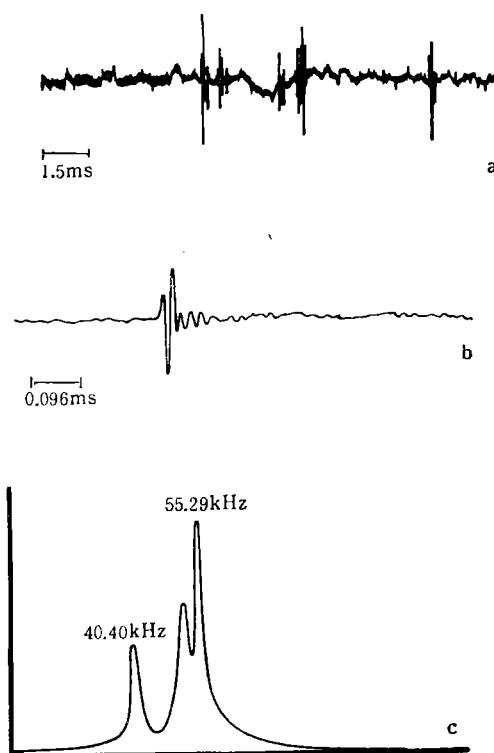


图 4 (a) 的答声脉冲串时域波形图(0.15 毫秒/毫米);
 (b) 的答声的单个脉冲(0.96 微秒/毫米); (c) 该
 脉冲的富里叶功率谱

Fig. 4 (a) Oscillogram of a click train (0.15ms/
 mm); (b) one click ($0.96\mu\text{s}/\text{mm}$); (c) The click's
 Fourier power spectrum

发声与环境的适应

(一) 声信号参数与环境的适应的初步探讨

在我们记录声信号的过程中,均采用两个通道同时记录。两个水听器相距 12 米。分析时进行对比研究。结果发现只要豚发出的是呼唤声,两个水听器均可收听得到,而“的答声”等脉冲信号往往只有一个水听器收听得到。我们初步认为除了其它因素的影响之外,这主要是“呼唤”声波束较宽,而“的答”声波束较窄的缘故。同时如前面所述,“的答”声频率较高,频带较宽,能量集中在超声范围。而呼唤声频率较低,频带较窄,能量集中在声频范围。我们认为所有这些是白𬶨豚在长期的进化过程中为适应居住条件而产生的一种良好的适应,也是这种动物身体结构及行为功能与生活环境的协调及合理性的表现。因为:(1)“呼唤”声是一种联络信号,有时正是因为不知对方位于何处,才发出联络信号。故而需要覆盖范围大、波束较宽的信号。同时频率较低而使得衰减较小以便传播更远的距离,达到交换信息的目的。(2)“的答声”主要是作为回声定位的手段。回声定位信号需要较大的能量以对目标作精细的探测,故而发射波束较窄的信号,以使能量集中,同时避免

目标以外的其它物体的回声干扰。另一方面，在一般情况下，水体中处于超声范围的环境噪声强度较小^[4]。白暨豚发射能量集中在超声范围而频带较宽的信号可有效地减弱环境噪声对其回声定位能力的影响。同时高频率、宽频带的信号不仅能够使其获得目标距离和位置的信息，而且还能获得目标参数(如材料、形状、大小等)的信息^[4]。

(二) “的答声”的发生次数与环境适应的程度之间的关系

1986年3月31日我所的研究人员首次成功地捕获了两头白暨豚^[1]，一雄一雌，取名“联联”和“珍珍”，放入25×25米的混凝土质构造的饲养池中饲养。第二天起我们即开始监测这两头白暨豚的发声情况。发现白暨豚刚进入一个陌生的而且与长江的自然环境截然不同的人工饲养池中后，显得很不习惯，经常对周围环境如池壁等进行探视，与此同时发出“的答声”。这段时间内记录的“的答声”很多，一次记录中(15分钟)可多达20多次。一次可包括几个脉冲串序列。而由于豚与水听器相对位置的关系，有些“的答声”被噪声所掩盖而记录不到，所以实际数目还要多。随着时间的推移，豚发声的次数渐渐减少，10天后每次记录仅数次左右，已经接近在人工饲养条件下生活了7年多的“淇淇”的发声次数的水平。

通过对池中丢入异物后豚的反应同样可看出“的答声”的发生和环境适应之间的关系。当救生圈、皮球等物体丢入饲养池后，对这类物体已非常熟悉的“淇淇”仅简单探视一下，然后就置之不理。而刚到人工环境的“联联”和“珍珍”在开始几次会迅速逃避，经过几天的适应后，就会在物体的周围游，并从不同方向探视。随着物体的移动，豚的头部会跟随其运动，额隆的轴线总是指向这个物体。同时发出很多的“的答声”。如果抖动放置于水下的水听器，对此已习以为常的“淇淇”仅发出1—2串脉冲串即“的答声”，有时甚至不加理会。而“联联”和“珍珍”却发出很多的“的答声”脉冲串，会在水听器周围停留数10秒钟而不离去。但随着饲养时间的进一步推延，“联联”和“珍珍”的这种好奇心理渐渐减弱，发声次数也减少。说明它们对这一类物体也慢慢熟悉了。

在“淇淇”和“珍珍”分别饲养于有过道相通的1、2号豚池时，从置于过道中央的水听器中常可记录到大量的“的答声”，此时总有一豚往对方探视或两豚互相探视。67天后，“珍珍”自动进入饲养“淇淇”的1号池中生活。这时两豚特别是“淇淇”显得比较紧张，各自在池的一边活动，从不越过界限，且不停地相互探视。这时出现大量的“的答声”。一次记录中可高达50余次。说明它们之间感到陌生，甚至恐惧。特别是“淇淇”已经六年多没有见到自己的同类了。但随着时间的推延，恐惧感渐渐消失，两豚可分别进入对方的区域活动。3天后，两豚已开始一起游动，显得熟悉起来。这时“的答声”大大减少，接近正常水平。总之，通过观察和分析，我们认为“的答声”的发生和出现次数在一定程度上表明了白暨豚对环境的适应状况，可以作为白暨豚对环境适应程度的一个标准。发声较多，说明对环境感到陌生甚至恐惧，发声较少或保持静默，说明对环境已不陌生或者已相当熟悉。通过分析其发生次数和时间的关系可以在某种程度上对白暨豚适应环境的能力作出一定的评价，并估计对环境的适应程度。从而为人工饲养、繁殖和行为研究并为物种保护提供一定的科学依据。

(三) 呼救声与环境适应的关系

在捕捞和体检过程中，发现“珍珍”和“联联”均发出极短促的呼救声。而据研究记录

“淇淇”和另一头饲养九个月后死亡的“容容”在人工饲养条件下的开始一段时间体检时亦发出同样的信号。而后随着体检次数的增多渐渐消失。我们认为这种特别的声信号是一种如 Lilly 所说的求救信号 (*distress signal*)^[1]。是对周围环境感到恐惧的一种表现。因为“珍珍”和“联联”刚到人工环境，被抬出水面放在担架上，身体受压，感到惊慌和不安，所以发出此叫声。而实际上“联联”发声较“珍珍”为少，这一点也许与年龄、性别有关（“联联”是成年雄性个体，“珍珍”是幼年雌性个体）。而“淇淇”随着体检次数的增多，对体检渐以习以为常，不再感到害怕，故此信号渐渐消失。经过将近一年的饲养后，“珍珍”这一信号的发生次数也渐渐减少。我们认为这一声信号的发生随着饲养时间的延长由多而少到无的过程也反映了豚对环境的一个适应过程。呼救声这一信号本身也能帮助我们了解豚所处的状态。在体检时一定要注意豚的发声情况，注意体检的方式和时间，不要使豚感到过于惊恐不安，以保证豚的健康。

（四）呼唤声与环境适应之间的关系

白暨豚是群体动物。长江中较少见到单独活动的白暨豚。而幼年个体一般是跟随成年个体一起活动^{[2][3]}。“珍珍”和“联联”在捕获前与另一豚组成了三头的群体^[1]。从“珍珍”的体长、体重等估计，捕获时“珍珍”的年龄仅一岁多，还未达到性成熟^[2]。1986年3月31日捕获后两豚放入同一个池子中饲养。开始一段时间，两豚紧紧相随活动。即使偶尔分开，也迅速会合。6月2日雄豚“联联”因病起水治疗。“珍珍”第一次离开亲豚单独生活。十五分钟后开始采集信号。此时，“珍珍”正在池中到处探视，寻找“联联”。结果发现了大量的一种特别信号，人耳感觉起来有点凄凉。根据“珍珍”当时的行为表现我们称这种声信号为呼唤声。15分钟共发生35次。从那以后，“联联”再也没有放入池中。而“珍珍”仍在不断地发射呼唤声。第二天，“珍珍”移往另一池中饲养，呼唤声仍未中断。我们监测了“珍珍”发射呼唤声的过程，同时观察其行为反应。结果发现在开始几天呼唤声很多，但随着时间的推移渐渐减少，7天后已很少记录得到，直至最后消失。我们认为呼唤声次数由多到少到无的过程反映了“珍珍”寻找“联联”的过程，同时也反映了“珍珍”对一个单独生活的新的环境的一个熟悉的过程。呼唤声的最后消失反映了“珍珍”最后放弃了寻找“联联”的努力，同时对单独生活的新环境也渐渐熟悉了。

讨 论

1. 从前面的分析中可以看出，白暨豚从长江自然环境进入到人工环境中生活后，经过10天左右对周围环境已比较熟悉。这与白暨豚经过两星期左右的饲养开始正常进食这一情况相吻合^[2]。说明要白暨豚进食，首先必须使豚消除对新环境的恐惧和陌生感。而根据豚发声的情况，可以判断它对环境的适应程度及其所处的状态。这一点对于豚类的人工饲养具有科学的指导意义。而根据国外对于海豚人工饲养的研究，一般也是在1—2星期后开始正常进食。说明两者对于环境的适应所花费的时间大致是相同的。这一点对于

1) 华元渝、赵庆中、张国成, 1986。《淡水豚生物学及物种保护国际学术讨论会》会议资料。

2) 陈佩薰、刘仁俊, 1986。《淡水豚生物学及物种保护国际学术讨论会》会议资料。

比较两者适应环境和学习的能力也许是有帮助的。使我们可以借鉴国外训练海豚的经验，以促进和加速白暨豚行为和声学系统的研究工作。

2. 根据几年以来的行为观察研究，在人工饲养条件下雄性白暨豚一年中有两个发情高峰。即4—5月份和8—9月份¹⁾。在这期间雄性白暨豚“淇淇”的脸颊部、腹部特别是生殖裂周围区域颜色变红，常出现剧烈的活动，如前所述的快速冲刺、爬墙、身体直立摇摆等等，阴茎常伸出体外。有时可长达十几厘米。此时常伴随发出大量的吱吱叫声。而在其它时刻这一信号却很少发出。可以认为：这种信号是“淇淇”性兴奋的一种表现。但是，目前尚不清楚这种信号是否就是白暨豚求偶的信号？雌豚是否拥有功能相类似的信号？当感受到这些信号后雌豚将作何反应？是否可以利用这种信号作为雌豚发情的一种刺激和诱导？这些都是人工繁殖研究中需要解决的课题。

参 考 文 献

- [1] 华元渝, 1987. 声驱网捕白暨豚。水生生物学报, 11(1): 99—100。
- [2] 陈佩薰、林克杰、华元渝, 1985. 白暨豚生物学特征的初步研究。水生生物学报, 9(2): 176—185。
- [3] 吴奇久、李俊凤、肖悦梅, 1982. 白暨豚视觉通道的组织学研究——视神经结构, 纤维计数和纤维直径谱。中国科学(B辑), (11): 1001—1005。
- [4] 周佩芬译(格鲁勃柯夫, A. Г. 著), 1984. 海豚水声定位器。国防工业出版社。
- [5] Lilly, J. C., 1962. Vocal behavior of the Bottlenose Dolphin. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6): 520—529.

A PRELIMINARY STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN SOUND TRANSMISSION AND ENVIRONMENTAL ADAPTATION BY *LIPOTES VEXILLIFER*

Wang Ding, Liu Renjun and Chen Peixun

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan)

Wang Zhifan, Lu Wenxiang and Yang Shuzi

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan)

Abstract

The relationship between sound transmission, signal type, signal parameter and environmental adaptation of *Lipotes vexillifer* in captivity was preliminarily studied. In response to changes in the environment or other conditions, the signal type, signal transmission frequency, etc. change in a regular way. The degree of adaptation to the environment, sexual period status of *Lipotes vexillifer* can be judged according to the patterns of these changes. This information has provided a scientific basis for the rearing, conservation and research on the sonar system of *Lipotes vexillifer*.

Key words Chinese River Dolphin, Sound signal, Environmental adaptation

1) 刘仁俊、王 丁, 1986. 《淡水豚生物学及物种保护国际学术讨论会》会议资料。