

生命百态

A
mazing lives

海豚研究新进展

2009年4月8日,《生物学快报》(*Biology Letters*)网络版上的一篇文章表示海军舰队等采用的中频声纳会对大西洋宽吻海豚(*Tursiops truncatus*)造成影响,使其出现暂时性听力丧失,最终导致其迷失方向而在海滩上搁浅。

美国夏威夷大学(University of Hawaii)的Aran Mooney等人对驯养的海豚进行训练,对它们进行高达214分贝的强烈声纳刺激(这种强度的刺激能够导致海豚听力受损及行为改变),然后利用固定在海豚头部的电极(如右图所示)测定其脑干听觉诱发电位来评估海豚的听觉功能。研究证实,反复接受强声纳刺激会导致海豚听力丧失。



T. A. MOONEY拍摄

一、声纳会引起海豚暂时性听力丧失

1. 背景介绍

从上个世纪以来,人类对海洋的利用程度与日俱增,同时也引入了许多人为噪音。这些噪音主要来源于航运贸易、石油勘测和开采、科学研究及海军声纳测试等等。科学家已经发现,持续增强的噪音水平会对陆生生物带来各种影响,包括行为改变、暂时性的生理变化和永久的机能损伤。显然,人为噪音对海洋生物同样也有影响,只是我们目前对其原因及相关机制所知较少。

其中,对海洋哺乳动物的影响受到了特别关注,这主要因为它们具有极其敏锐的水下听力,并且声音对于它们来说是交流、导向和捕猎的重要工具。已有研究表明,过度暴露于噪音中会导致永久的生理性损伤和有害的行为改变。在过去的几十年或者更久的时间里,就发生过多起海军中频声纳训练活动之后,鲸类成群搁浅的事件。这些暂时性的空间重叠事件显示,高强度声纳波似乎是鲸类搁浅的诱因。最新研究表明,声纳刺激可能会给海洋哺乳动物带来一系列影响。然而,这些说法都缺乏一定的实验对照,因而无法正确评估噪音对海洋哺乳动物的不良影响。因此,需要开展声纳刺激实验,以考察噪音对鲸类搁浅事件的确切影响并探究其机制。研究人员考察了声纳对齿鲸类听觉能力(有齿的鲸类和海豚)造成暂时性损伤的可能性,并检测了一种用来预测声纳和长期噪音诱导海豚暂时性听力丧失起始模型的可用性。

2. 实验过程

本研究在夏威夷大学海洋生物学研究院的开放水域进行，从2007年8月开始，为期两个月。研究中用到的噪音是在2005年夏季海洋哺乳动物搁浅事件之前，于美国华盛顿圣胡安岛记录下的中频声纳信号（图1）。研究人员对受过良好训练的，对噪音刺激实验较为适应的驯养繁育的大西洋宽吻海豚施以三个波段连续，各波段间有24s间隔的中频声纳刺激。宽吻海豚则被安置在距离传感器两米远，一米深的环形箍中，并且由训练员负责监测它们的行为。

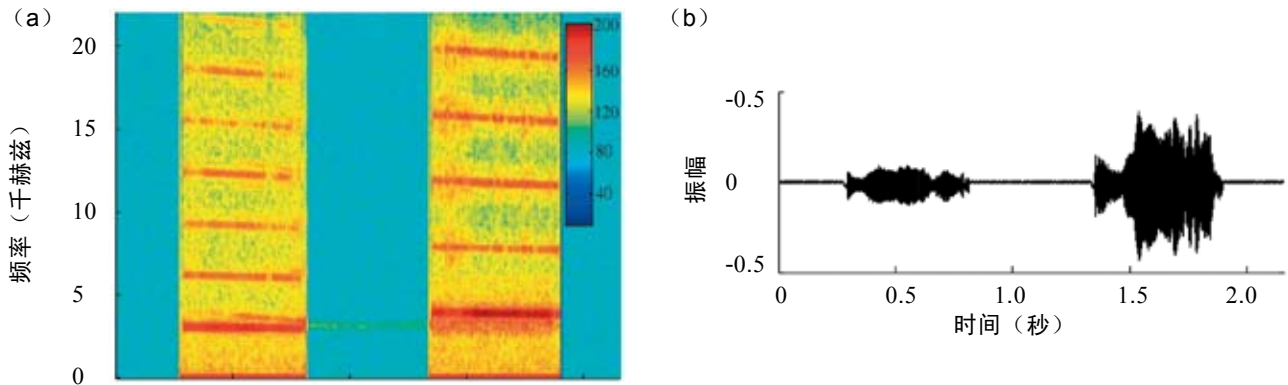


图1 实验用到的中频声纳发射波的 (a) 光谱图和 (b) 波形图。间隔0.5秒的两个声信号组成一个波段。注意各信号基谐波中的谐波。

为了评估宽吻海豚的暂时性阈移（temporary threshold shift, 见小词典1）情况，研究人员借用测定听觉诱发电位的生理学方法测定了它们在接受5.6千赫兹噪音前后的听阈值。研究发现，刺激前的听阈值接近基线或平均阈值，而刺激后的听阈值较平均阈值提高了1个标准差。研究者设定的暂时性阈移测量基值与平均阈值有一定距离，这是因为在两种测量方法下，听阈值通常会有轻微改变（一般 $\pm 2\sim 3$ 分贝）。研究人员将齿鲸类的听觉研究数据都进行了纵向和横向比较。此外还多次测定了声纳刺激后宽吻海豚的听阈值，一方面为了确定暂时性阈移的程度，另一方面也希望跟踪宽吻海豚的复原情况。研究人员缓慢增加各波段声纳波的声压级（sound pressure level; 见小词典2），直至达到其均方根（在海豚耳部位置测量）为203分贝，然后再缓慢增加波段数直至诱导了一个阈移。如此反复多次。如果未能诱发阈移，研究者会增加噪音波段数，从而提高噪音暴露量（sound exposure level）。噪音暴露量涉及音量和刺激时间两个参数，可代表声音能量。研究者缓慢增加噪音暴露量直到实验动物出现明显的暂时性阈移（一般以连续出现三次阈移为评估标准）。

3. 实验结果

研究人员分别测定了给予声纳波刺激后第五和第十分钟动物的听阈值，并发现数值有显著增加（图2）。然而，其中只有5组声压级为203分贝，噪音暴露量为214分贝的声纳波才能够成功诱导连续三次的暂时性阈移。而给予刺激后的20分钟（ $n=10$ ），80%的动物能恢复正常的听觉能力，一般不超过40分钟。对照组（未给予噪音刺激）则没有发生暂时性阈移。

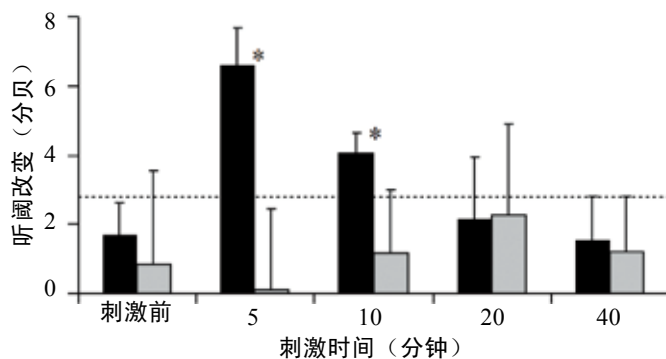


图2 声纳波刺激组（黑色； $n=7$ ）和对照组（灰色； $n=13$ ）在刺激时间段中暂时性阈移的平均值和标准差。相对基线听阈值，声纳刺激第5分钟和第10分钟后，听阈出现的显著性改变。虚线表示比平均阈值高出1个标准差。

在接受声纳波刺激时，动物的呼吸频率和进入噪音刺激状态的潜伏时间都明显增加。虽然在之前的实验中，接受噪音刺激时动物表现局促不安。但是此次并未观察到其行为学的明显改变，这可能与前刺激、动物适应性及良好的前期训练有关。

4. 实验后讨论

研究者将本次发现的听阈起始改变与其它相似研究中获得的数据进行比较，设计了一个模型来预测声纳信号以及其它噪音对齿鲸类听觉的影响。之前已有研究表明，可以利用噪音刺激等能量模型对齿鲸类的暂时性阈移进行预测。这一模型的理论基础在于，当噪音暴露量保持不变时，刺激时间不会对阈移造成影响。然而，本研究并不支持这种等能量假说，因为如果刺激时间缩短，就必须通过增加噪音暴露量才能引发听暂时性阈移（图3）。在多种噪音（包括宽带噪音和调频声纳侦测）刺激实验中均发现，可诱导暂时性阈移的噪音暴露量随着时间对数值呈线性增加。

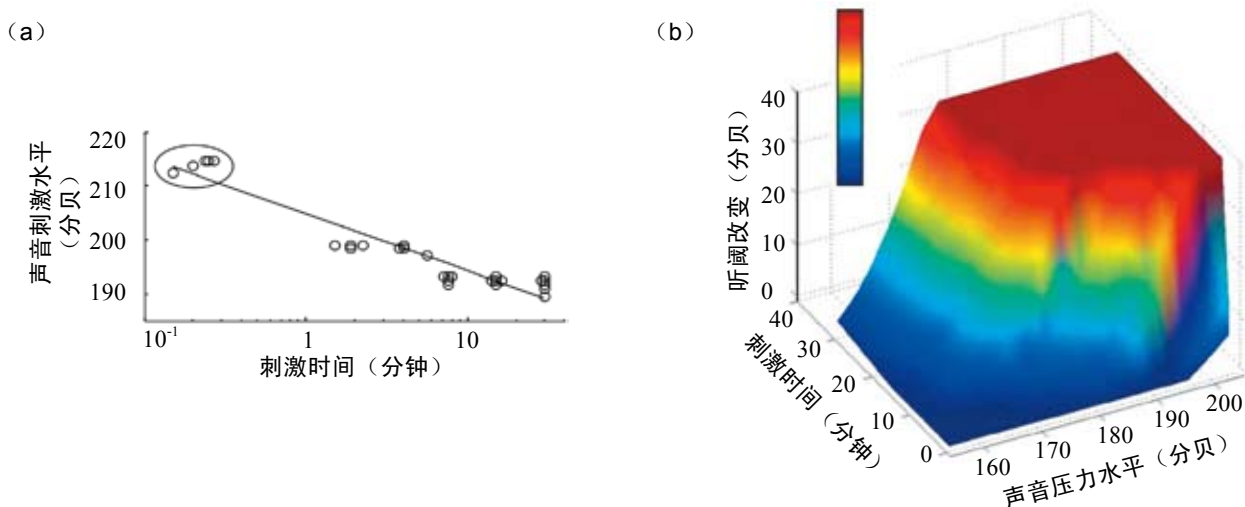


图3 (a) 声纳波（环形）和噪音刺激后观察到的暂时性阈移的开始。听力改变可通过刺激时间与噪音暴露量（SEL）的对数来预测。(b) 利用(a)图中点线图的方程式预测出的在不同的声纳和声压级和刺激时间下，海豚暂时性阈移的曲面图。

为了建立一个可预测噪音刺激听阈改变的新模型，研究者设计了声纳波和宽带噪音刺激试验，其中声压在157分贝到203分贝之间变化，持续时间为15秒到30分钟不等。他们通过获得的数据评估了齿鲸类的暂时性阈移起始和发展情况。线性模型和曲面图都证明，当声频信号（特别是声纳波）持续时间为0.5s时，噪音暴露量至少需要达到210–214dB才能够诱导暂时性阈移。这比之前的持续性刺激实验中所需的强度要大。这一结果说明，针对个体差异及其进行间断的刺激，或许需要更高的噪音暴露量才能诱导暂时性阈移。此外，这一结果并没有排除低水平噪音和声纳刺激对海洋哺乳动物造成的影响。以上数据同样暗示，这些动物必须很接近噪音污染源或是在一个很短的时间内反复接受噪音刺激才会造成暂时性阈移。将这两点进行剖析：首先，中频声纳波的声压级为235dB。假定距离增加一倍，声音衰减6分贝，那么这个研究用到的203分贝的声纳波至少能传到距声源40米远处，这段距离对于海军舰队来说是一个很近的距离。其次，动物将不得不与噪音暴露量为214分贝的声源保持最大距离，如果短于这个距离，它们就会受到更强的信号刺激。然而，动物们同时还需要处在一个噪音暴露量可以诱发暂时性阈移的距离范围内，当然这种可能性较小。

这两种情况下都需要实验动物更近距离且更持久地靠近声纳源。除非声纳信号可以迅速重复（由于返回回音的重叠，这种可能性并不存在）或者声音在海洋中短距离（几百米范围内）传播时不会衰减从而保持一定强度——或许在多声纳源存在的条件下会出现这种情况。

这个研究证实，虽然中频声纳波至少会导致齿鲸类动物的生理性听力暂时丧失和行为学改变，但是需要多次重复刺激才能出现这种结果。与之前研究结果不同的是，当噪音刺激时间缩短时必须增加噪音暴露量才能保证持续的阈移。这与陆生哺乳动物和鳍足类生物噪音刺激实验得到的结论一致，说明了生物听觉特性存在一致性并可类推。上述研究数据显示，海洋哺乳动物易受到强烈声纳波刺激而产生不良影响，但是它们出现暂时性阈移需要接受刺激的频繁程度还不清楚。

以上研究获得美国国家海洋渔业局批准，并符合夏威夷大学《实验动物使用与关爱委员会指导原则》和伦理学要求。

原文检索: *Biol. Lett.* Published online 8 April 2009 doi:10.1098/rsbl.2009.0099



小词典

1. 暂时性阈移 (temporary threshold shift)

暂时性阈移是指在短时间暴露于强噪声后引起的听力下降，听阈升高，但可很快恢复到噪声暴露前的水平。一般认为脱离噪声后数秒到1分钟，听阈恢复到原水平者称为听觉适应 (auditory adaptation)。如阈移达30dB以下，经数分钟、数小时至数天或更长时间听阈才恢复者称为听觉疲劳 (auditory fatigue)，也称为暂时性阈移。也有人将16小时内听阈恢复者称为短暂暂时性阈移或生理性听觉疲劳；超过16小时听阈仍未恢复者称长暂时性阈移或病理性听觉疲劳。

影响暂时性阈移的因素除了常见的噪声强度、频率、作用时间外，还与个体敏感性、年龄差异及工种等有关。其中噪声的强度是主要因素。在60-90dB (A) 时，暂时性阈移增大，当大于90dB (A) 以上时，暂时性阈移急剧上升，暂时性阈移小于40dB (A) 者，听阈易恢复；大于40dB (A) 者，恢复困难，且有部分听阈可能无法恢复。

噪声频率对暂时性阈移的影响，总的特点是高频声比低频声对听阈的影响大，小于70 dB (A) 的噪声，最大暂时性阈移 (TTSmax) 的频率同暴露的频率接近；当大于80dB (A)，暴露时间达数分钟至数小时。TTSmax向更高的频率方向移动，一般发生TTSmax的频率比暴露声频率高1/2~1个倍频，对于频谱不连续的噪声造成的TTSmax，其频率变化与纯音所引起的变化相同。宽带且能量分布较均匀的噪声，TTSmax出现在3k~6kHz频率处，这是比较典型的工业噪声暂时性阈移，窄带噪声所引起的暂时性阈移取决于噪声的频率范围。

噪声作用时间也是影响暂时性阈移的重要因素，对于中等强度80—105 dB (A) 的噪声，作用时间在8h内，暂时性阈移的增加大体与作用时间的对数成正比。当作用时间超过8h，这种线性关系即发生改变，暂时性阈移呈渐进性的指数增长关系，形成一个平台，称为渐进性阈移 (asymptotic threshold shift, ATS)。一般认为，渐进性阈移比较稳定，变异小，不易受暴露前听敏度的影响，可减少测试的个体间差异，可用于预测永久性阈移量，即后者不会超过前者。不同强度下的渐进性阈移是不同的，不同频率的渐进性阈移也不一样，3K~6KHz的渐进性阈移明显，而等于或小于2KHz的渐进性阈移不明显。

2. 声压级 (sound pressure level)

声压级以符号SPL表示，其定义为将待测声压有效值 p_e 与参考声压 p_{ref} 的比值取常用对数，再乘以20，即： $SPL=20\log_{10}(p_e/p_{ref})$ ，其单位是dB。

在空气中参考声压 p_{ref} 一般取为 $2 \times 10^{-5} Pa$ ，这个数值是正常人耳对1千赫声音刚刚能觉察其存在的声压值，也就是1千赫声音的可听阈声压。一般讲，低于这一声压值，人耳就再也不能觉察出这个声音的存在了。显然该可听阈声压的声压级即为零分贝。

二、海豚是怎样发出声音的？

1. 声音的发出

海豚在空气和在水下发声的方式是不同的。野生海豚主要在水下发声，不过处于危急状况时在水面上也会发出尖锐的哨音。相反，美国佛罗里达州海豚研究中心的海豚却能在空气中发出声音。这些听起来像“格格格”和“噗嗞噗嗞”声音都是海豚在工作人员的鼓励下自行发出的。海豚经常会发出新的声音，它们的同池伙伴也会模仿这些声音。这些声音通过空气传播，在实验室中萦绕不绝。

海豚通过从气孔排放空气来制造声音。海豚对气孔周围的肌肉有很好的控制能力，它们可以通过改变气孔的大小和形状来变换声音。在海豚研究中心，当有人从池边走过时，海豚会发出声音以引起他们的注意。这显然很奏效。因为当你路过一只正在尖叫的海豚时，你难免会做出些回应。

海豚在水下发声通常是为了获得方向、食物位置和周围环境等信息，并同其它海豚进行交流。这些声音通常在海豚头部气孔的下方产生，而并不需要气孔排出气体。关于海豚的水下发声有两种假说。

广为接受的一种假说是“鼻囊”理论。该理论认为海豚的声音是在其气孔下方的三对鼻囊产生的。海豚吸气以后，气孔关闭，空气从肺转到气囊中，使气囊膨胀。气囊开口处有一个鼻栓，空气经过鼻栓被排出并产生各种声音。这就好比挤压一个充满气体的气球。

另一种假说认为气囊只是声音的反射镜，而声音是由气孔下方的脂肪组织产生的。当空气经过时，脂肪组织就像嘴唇那样不断开阖，产生可在水中传播的脉冲。

科学界之所以没有对这两种假说下最终定论，是因为没有人能够确切看到海豚发声时其脑部的真正状况。现有的医疗设备很难达到上述水平并有可能对海豚的健康造成威胁。随着医学技术的发展，将来有望直接观察到海豚的发声机制。

所有关于发声海豚的测试都显示海豚头部存在鼻囊，而发声位置则在一个叫“猴唇”（*museau de singe*）的部位。研究人员通过装有高速摄像机的内窥镜观察到了猴唇的同步振动和脉冲的产生。海豚前额的脂肪组织额隆就像声学透镜那样可以将声音聚集并导出。



图片说明：美国佛罗里达州海豚研究中心
图片来源：http://www.dolphins.org/dolphin_lab.php

2. 声音的接听

最新研究显示，海豚下颚部特有的脂肪组织是将声音传至中耳和内耳的主要通道。

3. 发出声音的类型

海豚最为人熟知的三种水下发声是哨音、喀喇音和猝发脉冲音。

3.1 哨音

海豚会发出许多种不同的哨音。最常见的叫作“主哨音”（*signature whistle*），这是每只海豚与其它海豚相区别的特有的哨音。海豚并不是天生就有主哨音的，而是在出生四到六个月内才学会的。海豚发出的每一次哨音都是独特的，其中有些音节不变而有些随环境而变化，可能与信息交流或其它目的有关。海豚还可以模仿其它海豚的主哨音。宽吻海豚（*bottlenose dolphin*）哨音的大致频率范围在2~24千赫兹。

3.2 喀喇音/回波定位

科学家认为海豚仅在回波定位时才会发出喀喇音。海豚可以通过声音从它生活的周围世界中获得自身所需要的信息。喀喇音频率很快（0.2到150千赫兹），听起来就像门在嘎机作响或是很响的蜂鸣声，必须依赖特殊装备才能听清每一个音节。低频的声音可以传播得更远，但是与高频声音相比，可以反馈的物体信息量较小，因此当对远距离的物体进行定位时，海豚会发出低频的声音，而与物体距离够近时，海豚则会提高高频以获取更多详细信息。

海豚前额内有一个蜡色透镜状被称为“额隆”的结构，可将喀喇音向前聚集成束。当海豚对物体或是周围环境进行探测时，它们快速摆动头部并让定位回波束在物体周围或环境中来回反射。海豚可对远达100码以外的物体进行精确定位。不过这种回波定位功能在空气中就失灵了。

海豚在水下向物体发出喀喇音，并用下颚接收反弹的回音。从回音中，海豚可以得知物体的大小、形状、距离远近、移动速度、移动方向和物体密度。由此，海豚可以辨别看起来相似，但实则在材质和密度上并不相同的物体。海豚尤其擅长于探测物体内部的气室，而大部分鱼类都需要鳔来维持平衡。因此，海豚利用回波定位轻而易举地就可以探测到它们的存在。利用回波定位，海豚还可以很好地抗干扰。即使一大群海豚同时在回声定位，每只海豚都只会接收自己发出的回音而不会和其它海豚彼此干扰。

有意思的是，科学家们推测海豚的牙齿在接受反射的回波时可能也发挥了作用。海豚每颗牙齿之间都刚好有一颗牙齿大小的间距，一侧下颚的牙齿比另一侧要向前超出半颗牙齿的距离。因此，科学家们认为海豚牙齿的这种排列方式就像一个能将声音集中的阵列或触须，能够帮助海豚对物体进行精确定位。

当海豚处在熟悉的环境中或是可见度颇佳时，它们并不会经常进行回波定位。此时，它们利用绝佳的听觉来捕捉环境信息和其它海豚发出的声音。海豚往往是通过听觉而非回波定位来捕猎的。海豚进行回波定位时发出的声音也会暴露它们自己的位置。海豚在回波定位时可以根据周围环境和物体远近来调整音量大小。而那些担心水族馆的混凝土墙壁会因海豚回声定位时多次反弹的喀喇音而损坏完全是无稽之谈。

3.3 猝发脉冲音

猝发脉冲音是对一些“咪咪”、“唧唧”、“嘭嘭”等短促声音的概括性归类。海豚只有处在愤怒、受惊、不安或沮丧等情绪紧张时才会发出这种声音。

多年来研究者一直在思考，为何海豚能够用声音震晕或杀死鱼类和乌贼。由于海豚发出的定位波音量很高，所以最初他们认为海豚是使用这种声波来震晕鱼儿的。测试结果却否定了这一设想。关于宽吻海豚和虎鲸的研究记录引领研究者们开始关注海豚低频的强音以及猝发脉冲音，这可能是海豚捕食时采用的声音。

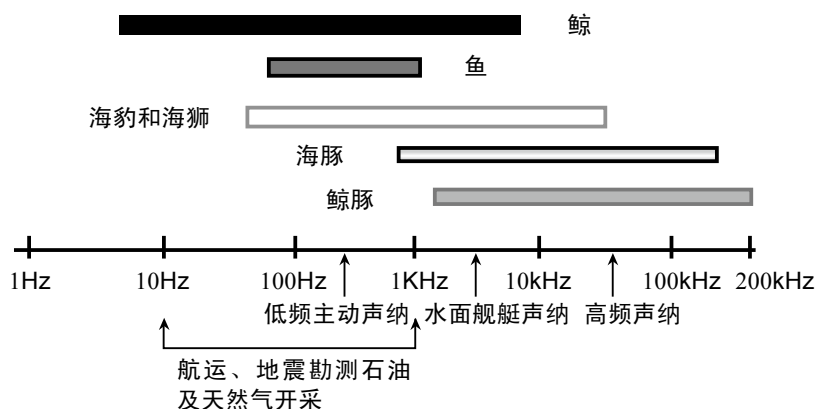
4. 噪音污染

近些年来，噪音污染对海洋哺乳动物产生了严重影响。人为噪音会妨碍鲸类导航、觅食、休息、防御和交配等许多重要活动。石油开采、声纳测试、爆破和地震勘测都会产生人为噪音，但最主要的噪音还是来自于轮船。

根据斯克里普斯海洋研究所的调查报告，2003至2004年的噪音水平比1964至1968年间高出10到12分贝。这主要由航运贸易所造成。近来关于海军声纳测试也有许多讨论和关注。已有确切证据表明声纳对于海洋哺乳动物存在不良影响。这种强度的声音甚至可能造成它们的搁浅和死亡。海军也对声纳的不良影响表示关注，并开始对人为噪音对海洋哺乳动物的影响等研究予以资助。

下图显示了一些人为噪音的频率范围和多种海洋哺乳动物发声的频率范围，从中可以看出它们之间的重叠和干扰。

海洋动物的声音与人为噪音频率的相关性



图片说明：关于人为噪音对海洋哺乳动物生存的不良影响至今尚未得到充分研究。因此，迫切需要持续关注这一方面以确保海洋哺乳动物及其生存环境的安全。只有我们更好地理解人为噪音对海洋环境及居民的影响，才能有效地控制和消除海洋哺乳动物频繁出没的海域的一切噪音污染源。

图片来源：美国国家海洋和大气局Brandon Southall博士提供。

原文检索：<http://www.dolphins.org/>

 Kitty/编译

三、海豚能够全天候保持警惕

参与了美国海军海洋哺乳动物计划的Sam Ridgway解释说，海豚能够让它们的大脑一半休息，一半保持清醒。并且，它们似乎能够对异常的声音保持数天持续的警觉。这些现象让Sam Ridgway和他来自圣地亚哥和特拉维夫的同事提出如下的疑问，海豚时刻保持的听觉警惕性是否会让他们感到疲累，并影响它们其它的感官呢？



图片说明：海豚能够让它们的大脑一半休息，一半保持清醒。并且，它们似乎能够对异常的声音保持数天持续的警觉。

图片来源：iStockphoto/Peter Barker

在实验中，Ridgway等人训练两只海豚在每30秒有0.5秒“哗哗”声的背景下对随机出现的1.5秒的“哗哗”声进行回应。Ridgway解释说，当海豚在屏蔽物内游动时，这些声音低得几乎都听不到。但是每当听到持续1.5秒的“哗哗”声时，它们都会迅速行动起来。实验连续进行了5天，海豚还是保持着和5天前一样的高度听觉警惕性。

接下来，Allen Goldblatt和Don Carder让海豚在继续听到重复的“哗哗”声的同时，设计视觉刺激实验来测试海豚的警觉性。由于眼睛位于头部的两边，海豚的双眼视觉有限。Kamolnick训练其中一只名叫SAY的海豚先用右眼辨认两种形状（三条水平的红杠或一条垂直的绿杠），再用左眼辨认同样的形状。理由在于，

如果海豚大脑有一半在训练时是处于睡眠状态的，那么它只能通过有意识的那半边大脑控制眼睛观察物体的形状。但是当它们训练SAY用左眼看形状时却惊讶地发现：即使它之前并没有用左眼看到这些形状，但它显然已经认识它们了。Ridgway认为这个信息是通过大脑半球传递的，并且海豚大脑半球内部存在神经联合，从而使得视觉信息可以相互传递。

当两只海豚都被训练到可以辨认这两种形状时，实验最辛苦的部分便开始了：对海豚进行连续5天的监控和食物奖赏，并测试它们对声音和视觉刺激的反应。令人惊讶的是，即使需要连续5天辨别出1.5秒的短暂蜂鸣声，海豚仍然保持着和实验刚开始时同样精确的高度反应性。该小组还在夜间引导海豚游入海湾，让它们在黑暗条件下辨认放置在那里的水平和垂直的杠状模型。研究发现，120h的实验行将结束时，海豚的视觉依然和开始一样敏锐。研究小组对海豚进行的血样检查也没有发现任何显示睡眠缺乏的体征。经过5天没有睡眠的实验，海豚的健康状况显然远远胜过那些科学家们。

参考文献

1. Ridgway, S., Keogh, M., Carder, D., Finneran, J., Kamolnick, T., Todd, M. and Goldblatt, A. (2009). Dolphins maintain cognitive performance during 72 to 120 hours of continuous auditory vigilance. *J. Exp. Biol.* 212, 1519-1527.

 Kitty/编译

四、海豚协作捕食的新发现

旋转海豚存在集体协作的捕食行为早已广为人知。但是，借助于高科技声学技术，研究人员最新发现，它们的同步协作比之前所了解的更为复杂，很可能已演变为一种最大限度地提高机体能量摄入的捕猎战略。



图片说明：一群海豚在捕食沙丁鱼
图片来源：水下摄影师Alexander Safonov

美国俄勒冈州立大学（Oregon State University）和夏威夷大学（University of Hawaii）的科学家发现，海豚在夜间使用令人眼花缭乱的“舞蹈”来包围猎物，然后成对地冲进包围圈，捕食那些慌乱的鱼儿。每对每次有15秒的进食时间，依次轮换，秩序井然。

本研究的主要作者，俄勒冈州立大学海洋生态学家Kelly Benoit-Bird表示，“这一切简直让人难以置信。它们在捕食时表现出来的默契程度可能连花样游泳队员也自叹不如。尤其是它们捕猎时正值夜晚，在海下数米深处它们根本无法看到彼此或是猎物。”

科学家表示，这项研究的重要性在于，它大大拓展了我们关于旋转海豚捕食行为的知识，并且声学监测技术的进步也为水下生态系统的科学研究开辟了新领域。Benoit-Bird表示，由于旋转海豚喜爱在夜间捕食，因此此前对于它们捕食的了解大多来自轶闻。不过，声学监听技术使得科学家可以不必采用照明和水下拍照

等这些会打扰海豚日常生活的手段来监测它们的行为。科学家们在夏威夷奥阿胡岛近海处使用“多波束回声测深仪”的声纳传感器监测成群的旋转海豚，发现它们捕食手段的系统化程度令人吃惊。

“最初，一小群海豚（约20只）排成一条直线在海里游动。当它们发现大量猎物时（本次观察到的捕猎对象是灯鱼），在距离猎物不到5米的地方包绕成一个密不透风的圆圈，然后不断地在垂直方向上下游动，造成的水波酷似体育赛事中的‘人浪’。” Benoit-Bird说，“它们就像犁地似地上下扭动着身体。虽然我们不确定它们这么做的目的是为了创造一个压力屏障还是试图把猎物弄晕，但很显然最终的结果是灯鱼群出现大混乱。”

当灯鱼大量聚集时，海豚开始收紧包围圈并自发组成10对。位于圆圈直径两端（如1点和7点钟位置）的一对海豚就游入包围圈进食，15秒之后再退回原来的位置。接着，轮到另一对（2点和8点钟位置）海豚进食。一次进食过程持续约五分钟，期间每只海豚都有两次进食机会，然后它们保持包围圈的形状不变，集体浮到海面呼吸。Benoit-Bird指出，海豚呼吸一次，然后再潜下来开始新一轮的进食。“一旦有个别海豚切断包围圈或是率先游到海面呼吸，它就打破了整个捕猎系统。可是这种情况从没有发生过。那么你肯定要问，他们如何互相沟通并将这种本领传授给下一代呢？”

对于后一个疑问，研究人员仍在探索。不过他

们的声学监测研究发现，许多科学家所认为的海豚沟通方式实际上是错误的。在同样发表于《美国声学杂志》上的该论文的姊妹篇中，研究人员描述了他们如何使用水下听音器监听海豚的觅食行为。

海豚是会发出声音的。许多人认为海豚那频率多变的哨音被是它们协作时的沟通工具。但研究人员发现，海豚只有在非进食时段或浮出水面时才会发出哨音，而捕猎时根本没有这样做。不过，它们会发出一组“咔嗒咔嗒”的声音，而且进食前这种声音的频率最高。

Benoit-Bird解释说，“哨音是全方位的，就像点亮一盏灯，灯光会充满整个房间。相反，‘咔嗒咔嗒’的声音就像激光一样是有方向性的。我们认为这可能是一个仅限于海豚内部的沟通手段，并不会被灯鱼及其它的捕食者如金枪鱼和旗鱼所识别。后二者可以听到哨声，却无法听出高频且集中的‘咔嗒’声。” Benoit-Bird开玩笑地说，“如果你正排队等候享用这丰盛的大餐，你会想要让隔壁的金枪鱼知道吗？”

旋转海豚主要分布于热带和亚热带的水域、近海和岛屿链附近。它们可以长到6至7英尺长，以深海的灯鱼、小虾和小鱿鱼为食。这些体格健壮、技艺高超的海豚一次只能捕获并吃下一条鱼，而一条灯鱼不过才3到5英寸大小。为了保证每天从食物中获取的热量达到3200卡路里，这些海豚每晚必须吃掉至少650条鱼。如果还要算上它们捕猎消耗的能量，另外还要多吃200到300条鱼。

Benoit-Bird说，“这样算下来，它们差不多每分钟就要吃掉一条鱼。我们认为这就是为什么它们精心设计了这么复杂的集体猎食系统。海豚无法像须鲸那样张大嘴巴一次吞下大量的食物，单打独斗的捕猎对于它们来说费时费力。这里是难以谋生的热带海洋，就像热带荒漠一样。因此，海豚们不得不采用这种独特的方式以最大限度地提高它们的捕猎能力。”

本研究由美国国家科学基金会（National Science Foundation）和海军研究办公室（Office of Naval Research）资助。主要合作者还有来自夏威夷大学的Whitlow W.L. Au。

原文检索：<http://www.physorg.com/news143803233.html>

