

DOI: 10.20103/j.stxb.202212233650

连玉喜, 杨晓鸽, 陈娜, 王云生, 李世健, 陈敏敏, 于道平. 航道整治期间长江江豚临时庇护所建设及效果评估. 生态学报, 2024, 44(12): 5185-5193.  
Lian Y X, Yang X G, Chen N, Wang Y S, Li S J, Chen M M, Yu D P. Construction and protection efficacy evaluation of temporary shelter for Yangtze finless porpoise during waterway regulation. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(12): 5185-5193.

## 航道整治期间长江江豚临时庇护所建设及效果评估

连玉喜<sup>1,2</sup>, 杨晓鸽<sup>1,2,\*</sup>, 陈娜<sup>2</sup>, 王云生<sup>3</sup>, 李世健<sup>3</sup>, 陈敏敏<sup>1,2</sup>, 于道平<sup>1,2</sup>

1 安庆师范大学 水生生物保护与水生态修复安徽省高等学校工程技术研究中心, 安庆 246133

2 安庆师范大学 生命科学学院, 安庆 246133

3 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 武汉 430071

**摘要:** 航道整治期间为受扰动江豚提供临时庇护所, 是在就地保护和迁地保护之外的一种尝试。2020 年 1 月至 2021 年 12 月, 在长江干线武汉至安庆段 6 m 水深航道整治过程中, 选取马当圆水道建设长江江豚临时庇护所, 通过禁止渔业捕捞, 增殖放流和通航引导等措施来提升庇护所质量。监测结果表明, 庇护所设立后其作为长江江豚栖息地的质量得到提高: 夏季鱼类密度从 (3361.2±1991.7) 条/hm<sup>2</sup> 上升到 (12439.1±10734.5) 条/hm<sup>2</sup>, 冬季鱼类密度从 (501.3±381.8) 条/hm<sup>2</sup> 上升至 (1684.4±3770.9) 条/hm<sup>2</sup>。通航船舶显著减少, 水下噪声低于长江干流的平均水平。长江江豚临时庇护所建立后, 枯水期庇护所水域内长江江豚的平均目击次数 (4.3±0.6)、观察头次 (6) 和群体大小 (1.4±0.5) 都要显著高于庇护所建设前 ( $P<0.05$ ), 丰水期则无显著性差异 ( $P>0.05$ ), 说明庇护所在枯水期发挥了对长江江豚的保护作用。但长江江豚对庇护所的利用主要集中在进出水道两端, 可能是枯水期部分水域过浅限制了江豚对庇护所的利用。分析认为, 航道整治等涉水工程施工期间为江豚提供临时庇护所是一项可行措施, 但要充分发挥庇护所以对江豚的保护作用, 必须全面考虑江豚对各项生态因子的需求, 防止因关键因子带来的“木桶效应”制约庇护所的整体适合度。

**关键词:** 航道整治; 长江江豚; 庇护所; 栖息地

## Construction and protection efficacy evaluation of temporary shelter for Yangtze finless porpoise during waterway regulation

LIAN Yuxi<sup>1,2</sup>, YANG Xiaoge<sup>1,2,\*</sup>, CHEN Na<sup>2</sup>, WANG Yunsheng<sup>3</sup>, LI Shijian<sup>3</sup>, CHEN Minmin<sup>1,2</sup>, YU Daoping<sup>1,2</sup>

1 Research Center of Aquatic Organism conservation and Water Ecosystem Restoration in Anhui Province, Anqing Normal University, Anqing 246133, China

2 College of Life Science, Anqing Normal University, Anqing 246133, China

3 CCCC Second Harbor Consultants Co. Ltd., Wuhan 430071, China

**Abstract:** Providing temporary shelter for disturbed Yangtze finless porpoises during waterway regulation is an attempt to go beyond in situ and ex situ conservation. Madangyuan waterway was selected to build a temporary shelter for Yangtze finless porpoise during the regulation of the waterway from Wuhan to Anqing of the Yangtze River between January 2020 and December 2021. The temporary shelter for the Yangtze finless porpoise was set up with several measures include fishing ban, enhancement and releasing, guiding navigation, etc. The monitoring results showed that the quality of the habitat of the Yangtze finless porpoise has improved. Fish abundance increased noticeably as average fish density increased from (3361.2±1991.7) ind./hm<sup>2</sup> to (12439.1±10734.5) ind./hm<sup>2</sup> in summer, and increased from (501.3±381.8) ind./hm<sup>2</sup> to

**基金项目:** 国家青年自然科学基金项目 (31902377); 安徽省高等学校自然科学基金项目 (KJ2018A0376, KJ2018A0377); 安徽省教育厅科研项目 (2023AH030072)

**收稿日期:** 2022-12-23; **采用日期:** 2024-05-20

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: flyingdove2007@163.com

(1684.4±3770.9) ind./hm<sup>2</sup> in winter. Meanwhile, transportation decreased significantly ( $P<0.05$ ) from (15.3±10.6) ships per day before the temporary shelter was set up to (0.8±0.7) ships per day in flood period, and (0.4±0.5) ships per day in dry period after the temporary shelter was build. And underwater noise reduced and kept at low level ((130.6±3.7) dB re 1  $\mu$ pa), which is lower than the mean underwater noise level in the mainstream of the Yangtze river, It was proof that fishing banning, enhancement and releasing, and limit the number of ships can improve the quality of the habitat of the Yangtze finless porpoise in short time. As result, the mean sightings (4.3±0.6), observed number (6) and group size (1.4±0.5) of the Yangtze finless porpoise in each surveys in low-water seasons was significantly higher than the shelter was set up before ( $P<0.05$ ). However, the is no difference in high flow period before and after the shelter was set up ( $P>0.05$ ). These results indicate that protective effect of the shelter on the Yangtze finless porpoise is mainly in the dry season. However, most of the Yangtze finless porpoises was observed concentrated at the inlet and outlet of the waterway. One possible reason is that the water level decreased during the dry season, which makes some waters too shallow for the Yangtze finless porpoise and that limited their utilization of the temporary shelter. Based on the integration of the upwards research, we concluded that providing temporary shelter for the Yangtze finless porpoise during waterway regulation is a feasible measure. Nevertheless, the demand for the ecological factors of the Yangtze finless porpoise should be fully considered to guarantee for the protection efficiency, or else the habitat suitability will be influenced by the key factors.

**Key Words:** waterway regulation; Yangtze finless porpoise; shelter; habitat

长江江豚(*Neophocaena asiaeorientalis*)主要分布于长江中下游干流及洞庭湖和鄱阳湖两个大型通江湖泊<sup>[1-2]</sup>,随着长江生态环境的恶化以及白暨豚(*Lipotes vexillifer*)的功能性灭绝,长江江豚成为目前长江仅存的淡水鲸类。然而,自20世纪90年代初到2017年,长江江豚的种群数量从2700头急剧下降至2012头,生存形势十分严峻<sup>[3-5]</sup>。研究认为,食物资源减少、渔业捕捞伤害、船舶撞击、水体污染、栖息地减少和适合度的下降是长江江豚种群衰退的重要原因<sup>[3]</sup>,且以栖息地减少和适合度的降低为最,因其乃其它几方面原因的综合体现。

长江江豚对栖息地有较强的选择性,研究发现80%的江豚在离岸300 m以内的水域活动,尤其偏好水流缓慢的浅水区、河口汇流区,以及长江洲滩等近岸水域<sup>[4,6-7]</sup>。长江是中国的“黄金水道”水道,对于内陆航运具有举足轻重的作用。由于河道的演变及经济发展对航运的巨大需求,长江航道整治工程近年来日益频繁。航道整治的目的是通过调整河槽形态和水、沙流路,改善航行条件,稳定有利河势。主要分为守护工程、筑坝工程、疏浚吹填工程和航道爆破工程等<sup>[8]</sup>。由于河道发生淤塞的河段很多也是长江江豚偏好的水域,因此航道整治工程与长江江豚栖息地会有一定的重叠。航道整治会改变河流形态和水文特征,施工期间船舶、噪声和污染物的增加会对长江江豚产生多方面的影响,包括适宜栖息地面积减小、破碎化或适宜度降低,意外伤亡概率增加等<sup>[9-10]</sup>。

就地保护和迁地保护是目前长江江豚保护的两种重要措施<sup>[3]</sup>。然而,囿于经济发展对长江运输线路的需求,就地保护只能选择部分对长江江豚来说十分重要的江段;迁地保护则因为受到环境条件和资金的制约,实施起来也困难重重,且迁地保护的主要目标是长江江豚的保种和繁育研究<sup>[11]</sup>。在航道整治等涉水工程施工期间为受扰动长江江豚提供临时庇护所,是在就地保护和迁地保护之外的另一种尝试。其目的是在尽量不干扰长江江豚自然种群的情况下,采取综合措施提高施工点临近栖息地的适合度,减缓施工带来的不利影响<sup>[9]</sup>。因此,通过增加食物丰富度、降低航运和噪声干扰等手段在短期内是否能提升长江江豚临时栖息地的适合度,以及长江江豚对临时庇护所的利用程度,是亟待研究的问题。

目前鲜有关于施工期长江江豚临时庇护所建设效果的研究,因此,对总结施工期长江江豚临时庇护所设立的措施进行总结,分析其有效性显得尤为必要,其成功经验和不足之处可为今后的长江生态保护和修复提供指导和借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 庇护所选址

长江下游马当河段上起小孤山,下至华阳河口,骨牌洲将马当河道上段分为南北两汉,北汉为马当圆水道,南汉为主通航水道<sup>[12]</sup>。马当河段为长江江豚的重要栖息地之一,该水域的长江江豚栖息活动有上下 2 个水域,上段以小孤山为重点水域,下段以瓜子洲洲尾为重点水域,冬季会进入马当圆水道<sup>[13]</sup>。马当圆水道杨林闸至华阳码头河段(29.935228°N—30.084019°N, 116.558743°E—116.712927°E)长 24 km,水面宽度为 400—850 m,水深 3.6—37.4 m(图 1)。该水域满足长江江豚的栖息地要求,临近施工点,且马当河段长江江豚密度较高,经综合论证,选择该水域作为长江江豚临时庇护所。

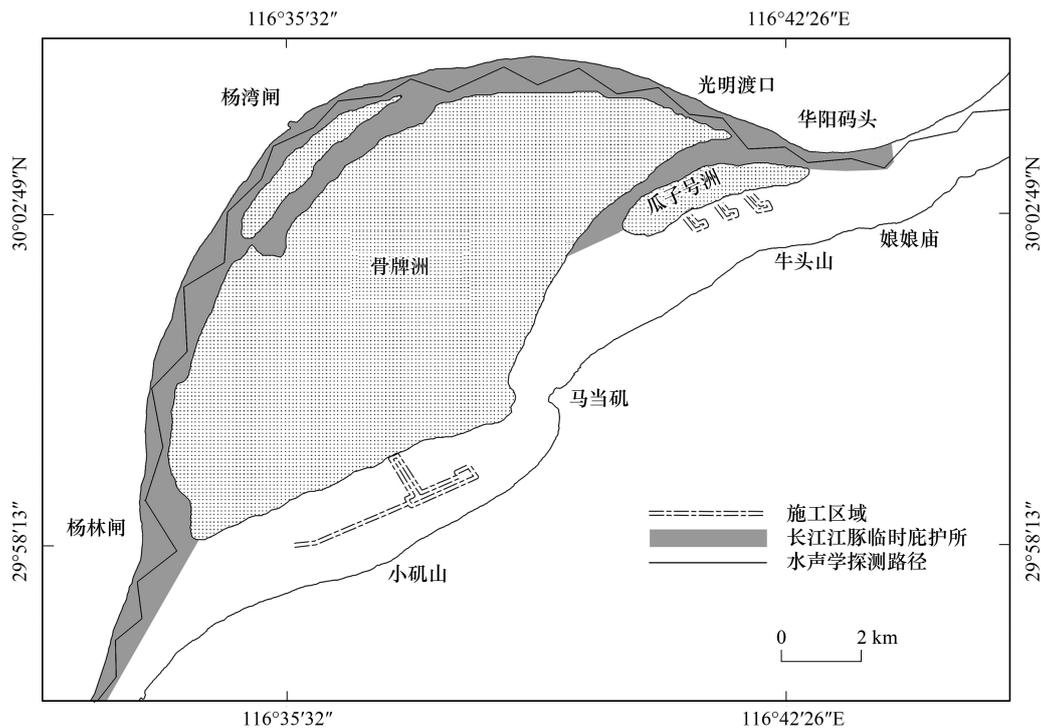


图 1 骨牌洲水域及样点设置

Fig.1 Sampling sites in waters of Gupaizhou

### 1.2 临时庇护所设立

长江江豚临时庇护所设立主要通过三个方面来提升其作为长江江豚栖息地的适合度。首先保证长江江豚有充足的饵料鱼资源,通过与当地渔政部门协作,以及长江流域十年禁渔政策的实施,至 2020 年 1 月,庇护所水域渔业活动已全部停止;2020 年和 2021 年,长江江豚临时庇护所建设单位和望江县农业农村局在该水域累计增殖放流鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、鳊(*Parabramis pekinensis*)、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)苗种超过 1000 万尾<sup>[14-15]</sup>。其次,通过设立船舶航行指示牌和加强巡查,限制庇护所水域船舶流量,减少船舶干扰和降低水下噪声。第三,通过长江生态保护宣传和长江江豚救护培训,提升长江江豚庇护所水域周边居民及相关施工人员的保护意识和救护能力。航道整治施工时间为 2020 年 1 月至 2021 年 12 月(累计施工期 12 个月),临时庇护所存续时间为 2020 年 1 月至 2021 年 12 月,2020 年 12 月前完成除 2021 年增殖放流外的大部分工作。

### 1.3 临时庇护所效果评估

临时庇护所效果评估主要包括庇护所饵料鱼资源、船舶通航、水下噪声以及长江江豚对临时庇护所的利

用四个方面。

### 1.3.1 鱼类资源

鱼类资源采用水声学评估,回声探测仪采用 BioSonics DT-X EXTREME (BioSonics, Seattle, WA, USA), 120 kHz 分裂波束回声探测仪。换能器 -3 dB 波束为  $7.4^{\circ} \times 7.4^{\circ}$ , 通过不锈钢制换能器支臂固定在探测船只右舷, 距离船首  $1/3$  船体长度, 入水深度 0.5 m, 波束垂直向下发射。探测之前在光明渡口采用标准校正球对回声探测仪进行校正, 步骤按标准方法进行<sup>[16]</sup>。调查时脉冲宽度设置为 0.2 ms, 脉冲发射频率为每秒 10 次, 探测时航速保持 6—8 km/h, 沿规划路线自上游向下游探测(图 1)。探测时间分别为 2019 年 6 月(夏季)、12 月(冬季), 2020 年 5 月(春季)、8 月(夏季)和 11 月(秋季), 2021 年 2 月(冬季)、5 月(春季)、8 月(夏季)和 11 月(秋季)。水声学数据分析采用与相关文献相同的方法<sup>[17]</sup>。

### 1.3.2 船舶通航

采用定位相机延时摄影的方式监测庇护所水域的通航情况。相机镜头向上游倾斜设置, 其沿河道方向最远可辨距离约为 1500 m。经现场实测, 骨牌洲北汊水道船只航行速度为 8~15 km/h, 因此, 船只在相机监控范围中的持续时间约为 357—535 s, 将相机拍摄间隔设置为 30 s, 即可保证白昼期间所有过往船只都被监测到。监测点位于王营小学附近岸边, 监测时段为 6:00—18:00, 每月中旬连续监测 5 d, 监测时间为 2020 年 5 月至 2021 年 11 月。只统计长度超过 15 m 的大型机动船舶。庇护所设立前通航情况通过调查问卷获取。

### 1.3.3 水下噪声

水下噪声监测采用被动声学记录仪(Soundtrap ST300HF, Ocean Instruments Ltd, New Zealand. 工作频率: 20Hz—150kHz $\pm$ 3dB. Sensitivity (High Gain): -171.4 dB re 1V/ $\mu$ Pa. Sample rate: 288 kHz. ADC: 16 bit.)。声学记录仪采用自制铁架置于水底以上约 0.6 m, 设置点水深约 3—4 m。两处监测点分别位于骨牌洲北汊进出口 2 km 处, 监测点水流平缓, 底质和岸堤为泥沙质, 此种底质和岸堤疏松多孔, 可有效减弱声信号的多次反射。监测时间为 2020 年 5 月至 2021 年 11 月, 每个季度取样一次。选取风力小于 4 级且无雨的天气, 每次每个监测点连续记录 3 d。

数据采用 MATLAB(R2010b, The Mathworks, Natick, MA) 自编声音分析程序进行数据处理和分析。以 3 d 的均方根声压级水平代表该季度的水下噪声水平。

### 1.3.4 长江江豚监测

长江江豚调查采用目视考察法, 以小型渔船作为目视观测平台。考察时采用两条观测船, 分别距离两侧岸边 150 m 同向行驶。考察人员以裸眼观察为主, 望远镜观测为辅, 对以船为中轴线的 300 m 近岸水域范围内的长江江豚进行观察。长江江豚观测也覆盖马当南水道。考察团队由 4 名成员组成, 3 名成员组成主要观察队(PO, primary observer), PO 中 1 名队员观察船体左侧  $-90^{\circ}$ — $-10^{\circ}$ , 另 1 名队员观察船体右侧  $90^{\circ}$ — $-10^{\circ}$ , 二者都要覆盖航线正前方区域, 以保证中线上的覆盖度; 第 3 名队员负责记录, 第 4 名队员先休息, 观察队员 0.5 h 交换一次位置。所有成员工作 1.5 h, 休息 0.5 h, 以保证观测效果。监测选择风速小能见度好的天气, 以保证观察距离和观察效率。考察时, 船速控制在 6—10 km/h。调查时间与鱼类资源监测时间相同。长江江豚观测方法及数据计算采用与相关文献相同的方法<sup>[13]</sup>。

## 1.4 数据分析

庇护所从 2020 年 1 月开始设立, 因此, 将该时间作为庇护所设立前和设立后的界限。由于鱼类资源丰富度随季节变化波动很大, 因此, 鱼类丰富度比较只在相同季节的不同年份间展开。不同时期船只通行率、鱼类资源丰富度等数据先进行正态性检验和方差齐性检验, 对符合正态分布和具有方差齐性的数据采用独立样本 T 检验, 不符合正态分布或方差不齐的数据采用 Kruskal-Wallis 检验或 Mann-Whitney 检验。此外, 长江江豚的空间分布受水位、流量等影响较大, 因此, 长江江豚目击率、观察头次和群体大小等数据对比仅在丰水期(5—10 月)或枯水期(11 月至次年 4 月)的不同年份间展开。数据先进行正态性检验, 对符合正态分布的数据采用独立样本 T 检验, 不符合正态分布或方差不齐的数据采用 Wilcoxon 检验。本研究中所有统计分析全部在

R4.0.2<sup>[18]</sup>中完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 鱼类资源

2019—2021 年临时庇护所水域鱼类资源丰富度 ( $-66 \text{ dB} \leq TS \leq -30 \text{ dB}$ ) (图 2)。其中,庇护所设立前(2019 年),夏季鱼类密度为  $(3361.2 \pm 1991.7)$  条/ $\text{hm}^2$ ,冬季鱼类密度为  $(501.3 \pm 381.8)$  条/ $\text{hm}^2$ 。庇护所设立后(2020—2021 年),夏季鱼类密度为  $(12439.1 \pm 10734.5)$  条/ $\text{hm}^2$ ,冬季鱼类密度为  $(1684.4 \pm 3770.9)$  条/ $\text{hm}^2$ 。相同季节,临时庇护所设立后的鱼类密度显著高于设立前 ( $P < 0.05$ )。2020 年,临时庇护所水域春季和秋季鱼类密度分别为  $(3403.2 \pm 3016.9)$  条/ $\text{hm}^2$  和  $(3423.0 \pm 3474.9)$  条/ $\text{hm}^2$ ;2021 年,临时庇护所水域春季和秋季鱼类密度分别为  $(4023.9 \pm 3822.5)$  条/ $\text{hm}^2$  和  $(3695.3 \pm 3231.0)$  条/ $\text{hm}^2$ ;庇护所设立后,相同季节不同年份鱼类密度不存在显著性差异 ( $P > 0.05$ )。这表明庇护所设立对于鱼类资源的恢复和增长有显著作用,这种增长在庇护所设立初期最为显著,此后鱼类丰富度在庇护所存续期间保持相对平稳。

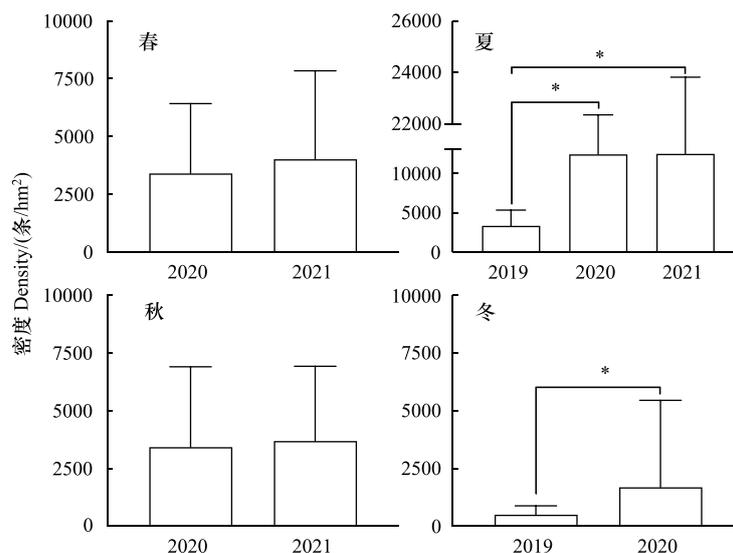


图 2 临时庇护所不同时期鱼类密度 ( $P < 0.05$  \*).

Fig.2 Fish resource of different time in temporary shelter for Yangtze finless porpoise ( $P < 0.05$  \*).

### 2.2 船舶通航

根据调查问卷的结果,长江江豚临时庇护所建设前(2020 年之前)该水域长度超过 15 m 船只的通行率为  $(15.3 \pm 10.6)$  艘/d ( $n = 57$ );庇护所设立后 2020 年 5 月至 2021 年 11 月船只通行率为  $(0.7 \pm 0.7)$  艘/d,其中丰水期(5—10 月)大型船只通行率为  $(0.8 \pm 0.7)$  艘/d,枯水期(11 月至次年 4 月)大型船只通行率为  $(0.4 \pm 0.5)$  艘/d(图 3)。庇护所设立后年际间或相同月份大型船只通行率均无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。Mann Whitney 检验表明,庇护所设立后该水域船只通行率显著低于设立之前 ( $P < 0.05$ )。由此可见,庇护所建设过程中的航运控制效果非常显著。

### 2.3 水下噪声

庇护所建设后 2020 年 5 月至 2021 年 11 月的监测结果表明,庇护所水域的水下噪声水平为  $(130.0 \pm 2.2)$  dB(re:  $1 \mu\text{pa}$ ) (图 4)。2020 年各季节水下噪声水平为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季,夏季比其余三个季节高约 3.7 dB,但不存在显著性差异;春季、秋季和冬季水下平均噪声水平差异小于 1.8 dB。2021 年各季节水下噪声水平为春季 > 秋季 > 夏季 > 冬季,不同季节水下噪声无显著性差异。

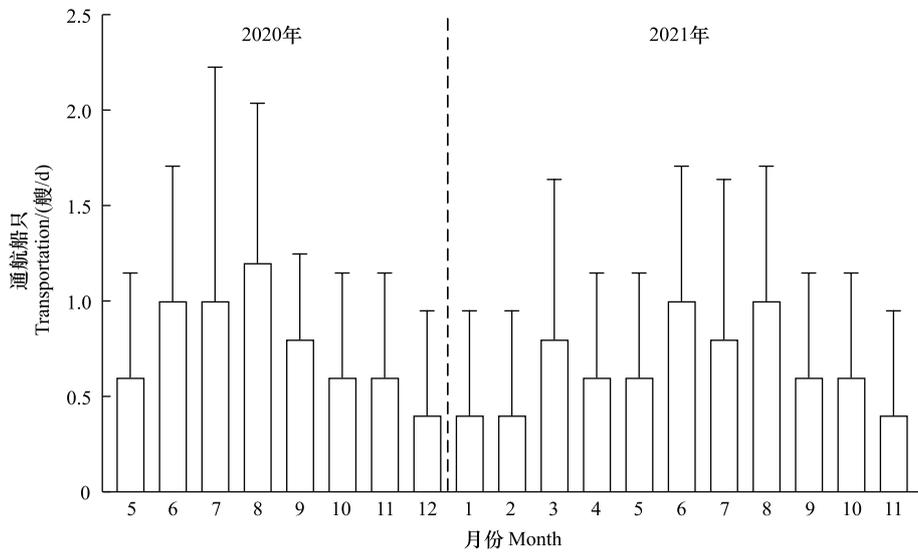


图3 2020年和2021年临时庇护所船舶通航情况(2020-05—2021-11)

Fig.3 The transportation in temporary shelter for Yangtze finless porpoise in 2020 and 2021

2.4 长江江豚种群

2019至2021年临时庇护所水域累积观测到长江江豚23头次,庇护所设立后,长江江豚在庇护所水域的活动明显增加,尤其是枯水期(表1)。2019年累积观测到长江江豚1头次,丰水期庇护所水域未观察到长江江豚,枯水期观测到长江江豚1头次;2020年底护所水域累积观测到长江江豚8头次,丰水期2次调查,平均观测长江江豚为 $1.0\pm 1.4$ 头次,群体大小为2头/群;枯水期1次调查,观测到长江江豚6头次,群体大小为 $(1.5\pm 0.6)$ 头/群;2021年底护所水域累积观测到长江江豚14头次,丰水期2次调查,平均观测长江江豚为 $(1.0\pm 1.4)$ 头次,群体大小为2头/群,枯水期2次调查,平均观测长江江豚为6头次,群体大小为 $(1.3\pm 0.5)$ 头/群。长江江豚临时庇护所建立后的2020年和2021年,枯水期庇护所水域内长江江豚的平均目击次数、观察头次和群体大小都要高于庇护所设立前的2019年( $P<0.05$ ),丰水期无显著性差异( $P>0.05$ )。

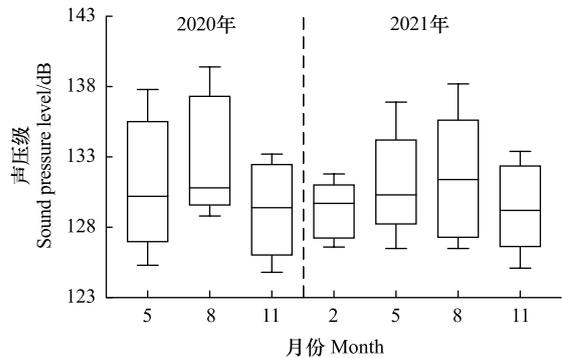


图4 2020年和2021年临时庇护所不同季节水下噪声水平

Fig.4 Boxplot of the sound exposure level in temporary shelter for Yangtze finless porpoise

表1 长江江豚临时庇护所不同水位考察航次长江江豚平均目击次数、平均观察头次和群体大小

Table 1 Sightings, total observed number, and average group size of porpoises observed at different water level of all surveys in temporary shelter for Yangtze finless porpoise

水文特征 Hydrological characteristics	年份 Year	调查航次 Surveys	平均目击次数 Mean sightings	观察头次 Observed number	群体大小 Group size
丰水期 Wet season	2019	1	0	0	0
	2020-2021	4	$0.5\pm 0.6$	$1.0\pm 1.2$	$1.0\pm 1.2$
枯水期 Dry season	2019	1	1 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>
	2020-2021	3	$4.3\pm 0.6^b$	6 <sup>b</sup>	$1.4\pm 0.5^b$

数字上标不同表示存在显著性差异( $P<0.05$ )

### 3 讨论

#### 3.1 临时庇护所建设和长江江豚栖息地质量的提升

濒危物种的保护措施,无论是就地保护还是迁地保护,其核心均是保护和恢复其栖息地<sup>[19]</sup>。与长江江豚栖息地质量密切相关的主要因素有食物丰富度、航运、水下噪声、岸线特征及水文流态等<sup>[20-26]</sup>。

食物丰富度是表征长江江豚栖息地适合度的关键因素之一<sup>[6]</sup>。长江江豚在自然水域主要捕食鱼类和虾类<sup>[27]</sup>。饵料鱼的丰富度是长江江豚栖息地选择的重要驱动因子<sup>[9]</sup>。魏卓等通过定量分析长江八里江段长江江豚的栖息地利用指数,认为其栖息地选择与饵料鱼相关。在鄱阳湖口及部分长江江段的研究发现,有鱼类分布的水域发现长江江豚的概率高于40%,未监测到鱼类的水域,发现长江江豚的概率则低于20%<sup>[21]</sup>。另有研究表明,长江江豚的种群分布与鱼类资源呈显著正相关性<sup>[20, 23]</sup>。甚至在人类活动干扰强烈的港口和码头水域,长江江豚为获得足够的食物,也会频繁地进入这些区域活动和觅食<sup>[28-29]</sup>。临时庇护所在设立过程中,为提升其作为长江江豚栖息地的适合度,首先就是增加适口饵料的资源量。在增殖放流和禁止渔业捕捞的双重作用下,临时庇护所水域鱼类丰富度显著提高,尤其是枯水期(图2)。长江鱼类资源在春夏季得到补充,因此,对于长江江豚来说,丰水期的食物资源通常比较丰富,食物短缺主要发生在枯水期。临时庇护所的饵料鱼资源在枯水期对长江江豚的吸引力比丰水期更大,这也是在庇护所设立后在枯水期观测到更多长江江豚的原因。

长江江豚等鲸豚动物依赖声波进行感知和通讯,因此对水下噪声尤为敏感。水下噪声水平升高会妨碍群体内个体之间的联系和交流,以及通过回声定位寻找食物<sup>[30]</sup>。原因不仅在于噪声水平升高会对鲸豚类的听觉产生短时的掩蔽效应,提高其听觉阈值<sup>[31]</sup>,长期暴露于高水平噪声还会导致听觉疲劳或损伤,即使噪音消除也无法完全恢复<sup>[28, 32-33]</sup>。过强的水下噪声甚至会造成鲸类动物死亡<sup>[34-35]</sup>。水下噪声对幼体长江江豚的影响更大,由于长江江豚在出生后20 d左右才能发出超声信号,且其声呐系统的完善需更长时间,如果在其声呐系统发育期间持续存在高强度噪声干扰,可能会对其听觉系统造成不可逆的影响<sup>[36-37]</sup>。噪声干扰还可能导致幼豚与母豚失去联系,降低其生存能力,甚至死亡。

长江的水下噪声主要来自船舶和涉水工程。大型船舶会使20—144 kHz的环境背景噪声增大3.3—66.5 dB,使得环境噪声在8—140 kHz频段内都高于长江江豚的听觉阈值,很可能对长江江豚的捕食和通讯产生影响<sup>[38]</sup>。涉水工程施工期间,各类施工船舶和机械产生的噪声会使施工现场水下噪声不同程度增强。船舶对长江江豚的影响不仅仅有噪声,其螺旋桨可能直接造成长江江豚伤亡。由于长江江豚发出的是脉冲式的超声波,因此静默期对周围环境感知的降低会导致其无法及时避让船舶,对幼豚而言,这种危险更加显著。因此,长江江豚会对船舶表现出躲避行为<sup>[39]</sup>,在鄱阳湖枯水期,长江江豚的目击率与货船密度呈显著负相关关系<sup>[25]</sup>。在垂直船舶航行轨迹的0—50 m距离范围内,观测到长江江豚的概率极低,而当该距离超过50 m时,观测到长江江豚的概率显著增大<sup>[29, 39]</sup>。

临时庇护所水域的噪声主要来自船舶,由于长江禁渔,渔业捕捞船只全部取缔,加上通航引导,该水域内通航船舶的数量显著低于庇护所设立前,从而使水下噪声也保持在较低水平( $130.0 \pm 2.2$  dB re 1  $\mu$ pa),低于长江干流的平均噪声水平<sup>[33]</sup>。因此,从食物丰富度、船舶通航和 underwater 噪声来看,临时庇护所设立后,该水域作为长江江豚栖息地的质量得到了较大程度提升。枯水期庇护所水域内长江江豚的平均目击次数、观察头次和群体大小都要高于庇护所设立前,说明庇护所在枯水期发挥了对长江江豚的保护作用。

#### 3.2 临时庇护所建设的经验总结

航道整治对长江江豚的影响包括挤占栖息地面积、饵料资源减少、水下噪声增强、意外伤亡概率增加等<sup>[9-10]</sup>。要减缓或削弱这些不利影响,发挥临时庇护所对长江江豚的庇护作用,必须提升其作为长江江豚栖息地的适合度,采取综合措施来增加饵料资源、调节水文、减少船舶和降低噪声干扰等<sup>[9]</sup>。在临时庇护所设立的过程中,首要措施即是通过增殖放流和禁止渔业捕捞来增加鱼类丰富度,庇护所设立期间,项目实施单位

和望江县渔政累积在该水域放流鱼苗超过 1000 万尾。禁捕则保证了增加的鱼类资源不被人捕捞。由于禁捕是在长江禁捕的大背景下开展,成效十分显著。水声学评估表明,庇护所水域内的鱼类资源较庇护所设立前有了明显增加。其次,庇护所在设立前,行经该水域的船舶主要是渔业船舶,由于长江全面禁捕,渔业捕捞船舶全部被取缔,加上通航引导,庇护所内基本无大型船只通过,使得船舶干扰和噪声大大减小。再就是通过庇护所周边社区开展保护宣传工作,以及对施工相关人员开展长江江豚救护培训,增强了民众的保护意识,进一步降低了人为干扰对长江江豚的影响。这些措施提升了该水域作为长江江豚栖息地的适合度,因此,庇护所设立后的枯水期观测到比设立前更多的长江江豚。

庇护所在设立过程中也暴露出一些问题,尽管庇护所作为长江江豚栖息地的适合度得到提升,长江江豚在庇护所的出现率有所增加,但与设立前并无显著性差异。其次,从长江江豚在庇护所的出水点来看,进入庇护所的长江江豚全部集中于马当圆水道的进口和出口附近,并未深入庇护所。其主要原因可能在于马当圆水道部分河段较浅,枯水期最低水位期间部分断面水深降至 5 m 以下,而长江江豚偏好的水深在 7—12 m 之间<sup>[6, 23]</sup>,水过浅使得长江江豚的安全感降低,因而不敢深入。因此,在今后的长江江豚庇护所选址和建设的过程中,应充分考虑枯水期低水位时庇护所的最小水深,防止因断面过浅给长江江豚造成迁移瓶颈,以致庇护所不能充分发挥其保护作用。此外,庇护所建设还应充分考虑长江江豚对其它生境因子的需求,如岸线特征、沿岸带植被和水动力需求等,防止因关键因子带来的“木桶效应”制约栖息地的整体适合度。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 高安利,周开亚. 关于江豚的古籍记载及现代研究. 兽类学报, 1993, 13(3): 223-234.
- [ 2 ] Zhou X M, Guang X M, Sun D, Xu S X, Li M Z, Seim I, Jie W C, Yang L F, Zhu Q H, Xu J B, Gao Q, Kaya A, Dou Q H, Chen B Y, Ren W H, Li S C, Zhou K Y, Gladyshev V N, Nielsen R, Fang X D, Yang G. Population genomics of finless porpoises reveal an incipient cetacean species adapted to freshwater. *Nature Communications*, 2018, 9: 1276.
- [ 3 ] Wang D. Population status, threats and conservation of the Yangtze finless porpoise. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54(19): 3473-3484.
- [ 4 ] 张先锋,刘仁俊,赵庆中,张国成,魏卓,王小强,杨健. 长江中下游江豚种群现状评价. 兽类学报, 1993, 13(4): 260-270.
- [ 5 ] Huang J, Mei Z G, Chen M, Han Y, Zhang X Q, Moore J E, Zhao X J, Hao Y J, Wang K X, Wang D. Population survey showing hope for population recovery of the critically endangered Yangtze finless porpoise. *Biological Conservation*, 2020, 241: 108315.
- [ 6 ] 魏卓,张先锋,王克雄,赵庆中,匡新安,王小强,王丁. 长江江豚对八里江江段的利用及其栖息地现状的初步评价. 动物学报, 2003, 49(2): 163-170.
- [ 7 ] 于道平,王江,杨光,章贤. 长江湖口至荻港段江豚春季对生境选择的初步分析. 兽类学报, 2005, 25(3): 302-306.
- [ 8 ] 陈茜,逢勇,王一秋. 长江航道整治工程生态保护的重点研究课题. 水资源保护, 2016, 32(1): 67-71, 129.
- [ 9 ] 王克雄,王丁. 航道整治工程对长江江豚影响及缓解措施分析. 环境影响评价, 2015, 37(3): 13-17.
- [ 10 ] 梅志刚,郝玉江,郑劲松,王志陶,王克雄,王丁. 鄱阳湖长江江豚的现状和保护展望. 湖泊科学, 2021, 33(5): 1289-1298.
- [ 11 ] 蒋文华. 长江江豚迁地保护概述. 安徽大学学报: 自然科学版, 2010, 34(4): 104-108.
- [ 12 ] 刘玉娟. 长江下游马当南水道近期河床演变分析与治理方案研究. 中国水运, 2019(4): 52-53.
- [ 13 ] Chen M M, Yu D P, Lian Y X, Liu Z G. Population abundance and habitat preference of the Yangtze finless porpoise in the highest density section of the Yangtze River. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2020, 30(6): 1088-1097.
- [ 14 ] 安庆市人民政府. 望江县: 开展“全国放鱼日”增殖放流活动. (2020-06-08). [ 2022-06-10 ]. <https://www.anqing.gov.cn/xwxx/qxd/2000077761.html>.
- [ 15 ] 望江县人民政府. 2021 年望江县增殖放流情况公示. (2021-06-02). [ 2022-06-10 ]. <https://www.wangjiang.gov.cn/public/19638141/2019391021.html>.
- [ 16 ] Foote K. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. *International Council for the Exploration of the Sea*, 1987, 144:1-69.
- [ 17 ] 连玉喜,杨晓鸽,万安,陈敏敏,张晓可,于道平. 安庆西江长江江豚饵料鱼资源评估. 长江流域资源与环境, 2018, 27(5): 1051-1060.
- [ 18 ] R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org>. 2020.
- [ 19 ] 蒋志刚,马克平. 保护生物学原理. 北京: 科学出版社, 2014, 523-756.
- [ 20 ] Kimura S, Akamatsu T, Li S H, Dong L J, Wang K X, Wang D, Arai N. Seasonal changes in the local distribution of Yangtze finless porpoises

- related to fish presence. *Marine Mammal Science*, 2012, 28(2): 308-324.
- [21] Kimura S, Akamatsu T, Wang K X, Wang D, Li S H, Dong S Y, Arai N. Comparison of stationary acoustic monitoring and visual observation of finless porpoises. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2009, 125(1): 547-553.
- [22] Li S H, Wang D, Wang K X, Xiao J Q, Akamatsu T. The ontogeny of echolocation in a Yangtze finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2007, 122(2): 715-718.
- [23] Mei Z G, Chen M, Li Y T, Huang S, Haung J, Han Y, Zhu B, Li C S, Wang K X, Wang D. Habitat preference of the Yangtze finless porpoise in a minimally disturbed environment. *Ecological Modelling*, 2017, 353: 47-53.
- [24] 陈敏敏, 刘志刚, 黄杰, 连玉喜, 杨晓鸽, 于道平. 固化河岸对长江江豚栖息活动的影响. *生态学报*, 2018, 38(3): 945-952.
- [25] 黄杰. 长江江豚种群现状及栖息地选择机制的研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2019.
- [26] 章晋秀, 陈懋, 韩祎, 雷珮玉, 王克雄, 梅志刚, 王丁. 长江中下游干流江豚岸线栖息地质量评估. *水生生物学报*, 2019, 43(S1): 56-61.
- [27] 陈佩薰, 刘仁俊, 王丁. 白鱀豚生物学及饲养与保护. 北京: 科学出版社, 1997, 233-233.
- [28] Wang Z T, Akamatsu T, Wang K X, Wang D. The diel rhythms of biosonar behavior in the Yangtze finless porpoise (*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*) in the port of the Yangtze River: the correlation between prey availability and boat traffic. *PLoS One*, 2014, 9(5): e97907.
- [29] Wang Z T, Akamatsu T, Mei Z G, Dong L J, Imaizumi T, Wang K X, Wang D. Frequent and prolonged nocturnal occupation of port areas by Yangtze finless porpoises (*Neophocaena asiaeorientalis*): forced choice for feeding? *Integrative Zoology*, 2015, 10(1): 122-132.
- [30] Williams R, Bain D E, Smith J C, Lusseau D. Effects of vessels on behaviour patterns of individual southern resident killer whales *Orcinus orca*. *Endangered Species Research*, 2009, 6: 199-209.
- [31] Wang Z T, Wu Y P, Duan G Q, Cao H J, Liu J C, Wang K X, Wang D. Assessing the underwater acoustics of the world's largest vibration hammer (OCTA-KONG) and its potential effects on the Indo-Pacific humpbacked dolphin (*Sousa chinensis*). *PLoS One*, 2014, 9(10): e110590.
- [32] Finneran J J, Schlundt C E. Effects of fatiguing tone frequency on temporary threshold shift in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2013, 133(3): 1819-1826.
- [33] Wang Z T, Akamatsu T, Duan P X, Zhou L, Yuan J, Li J, Lei P Y, Chen Y W, Yang Y N, Wang K X, Wang D. Underwater noise pollution in China's Yangtze River critically endangers Yangtze finless porpoises (*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*). *Environmental Pollution*, 2020, 262: 114310.
- [34] Malakoff D. A roaring debate over ocean noise. *Science*, 2001, 291(5504): 576-578.
- [35] Foote A D, Osborne R W, Hoelzel A R. Environment; whale-call response to masking boat noise. *Nature*, 2004, 428(6986): 910.
- [36] Li S H, Wang K X, Wang D, Dong S Y, Akamatsu T. Simultaneous production of low- and high-frequency sounds by neonatal finless porpoises. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2008, 124(2): 716-718.
- [37] 梅志刚, 郝玉江, 郑劲松, 王克雄, 李松海, 王丁. 长江江豚种群衰退机理研究进展. *生命科学*, 2011, 23(5): 519-524.
- [38] 张天赐, 居涛, 李松海, 谢燕, 王丁, 王志陶, 王克雄. 长江和畅洲江段大型船舶的噪声特征及其对长江江豚的潜在影响. *兽类学报*, 2018, 38(6): 543-550.
- [39] 董首悦, 董黎君, 李松海, 木村里子, 赤松友成, 王克雄, 王丁. 江西鄱阳湖湖口水域船舶通行对长江江豚发声行为的影响. *水生生物学报*, 2012, 36(2): 246-254.