

长江生态考核指标: 基于被动声学监测的长江江豚数量

王克雄 王志陶 梅志刚 郑劲松 郝玉江 韩祎 段鹏翔 陈宇维 杨依宁 邱建松 范飞 邓晓君 王丁

**ECOLOGICAL ASSESSMENT INDICATOR OF THE YANGTZE RIVER: PASSIVE ACOUSTIC MONITORING
BASED POPULATION SIZE OF THE YANGTZE FINLESS PORPOISE**

WANG Ke-Xiong, WANG Zhi-Tao, MEI Zhi-Gang, ZHENG Jin-Song, HAO Yu-Jiang, HAN Yi, DUAN Peng-Xiang, CHEN Yu-Wei, YANG Yi-Ning, QIU Jian-Song, FAN Fei, DENG Xiao-Jun, WANG Ding

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2021.2021.0263>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

长江中下游干流江豚岸线栖息地质量评估

RIVER BANK HABITAT ASSESSMENT OF THE YANGTZE FINLESS PORPOISE IN THE MAIN STEM OF MIDDLE-LOWER YANGTZE RIVER

水生生物学报. 2019, 43(S1): 56-61 <https://doi.org/10.7541/2019.167>

长江江豚细菌性疾病的诊治

DIAGNOSIS AND TREATMENT OF THE BACTERIAL DISEASES IN THE YANGTZE FINLESS PORPOISE

水生生物学报. 2018, 42(3): 584-592 <https://doi.org/10.7541/2018.073>

长江江豚自然保护区建设管理存在的问题及调整建议

PREDICAMENTS AND ADJUSTMENT SUGGESTIONS FOR CONSTRUCTION AND MANAGEMENT OF YANGTZE FINLESS PORPOISE NATURE RESERVES

水生生物学报. 2020, 44(6): 1360-1368 <https://doi.org/10.7541/2020.156>

长江江豚脐带永生化成纤维细胞系建立及细胞生长特性研究

IMMORTALIZATION OF YANGTZE FINLESS PORPOISE FIBROBLAST CELL AND PRELIMINARY STUDY ON THE GROWTH CHARACTERISTICS

水生生物学报. 2021, 45(1): 39-47 <https://doi.org/10.7541/2021.2019.077>

安庆西长江江豚迁地保护基地河岸带植物群落结构特征

CHARACTERISTICS OF RIPARIAN PLANT COMMUNITY IN YANGTZE FINLESS PORPOISE EX-SITU RESERVE IN XIJIANG OXBOW, ANQING CITY

水生生物学报. 2019, 43(3): 623-633 <https://doi.org/10.7541/2019.075>

天鹅洲故道水生态研究进展

PROGRESS IN STUDIES ON WATER ECOLOGY IN TIAN' E ZHOU OXBOW

水生生物学报. 2017, 41(4): 935-946 <https://doi.org/10.7541/2017.117>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2021.2021.0263

长江生态考核指标: 基于被动声学监测的长江江豚数量

王克雄¹ 王志陶¹ 梅志刚¹ 郑劲松¹ 郝玉江¹ 韩 祎¹ 段鹏翔¹ 陈宇维^{1,2}
杨依宁^{1,2} 邱建松^{1,2} 范 飞¹ 邓晓君¹ 王 丁¹

(1. 中国科学院水生生物研究所, 中国科学院水生生物多样性与保护重点实验室, 武汉 430072;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 长江是复杂的生态系统, 但是随着长江生态环境的持续变化, 尤其是人类扰动所致的变化, 长江中的几种极其重要的大型物种先后因此而走向“灭绝”, 或“极可能灭绝”, 或“极度濒危”, 因此在现阶段有必要以现存于长江中的大型物种的生存状况为核心, 建立一项新的生态考核指标, 以综合表征长江生态系统的健康状况和生物多样性的完整性, 为“十年禁捕”和《长江保护法》的顺利实施提供科技支持。长江江豚(*Neophocaena asiaorientalis asiaorientalis*)仅分布于长江中下游及洞庭湖、鄱阳湖, 是长江中极可能仅存的大型水生哺乳动物, 多年来一直受到社会各界的高度关注, 已成为长江“明星”物种。长江江豚种群分布和数量的变化与长江生态环境和鱼类资源的变化密切相关, 具有综合表征生态环境质量和生物多样性及其变化的基本属性。在复杂的水下声环境中, 长江江豚的声纳信号具有独特的时频特征, 具有较强的可监测性和可量化特征, 并且已被广泛应用于长江江豚的被动声学监测、实时识别和群体估算。同时, 在自然水域对长江江豚进行被动声学监测是一项方便和高效的工作。在沿江和沿湖设置一些样地水域, 布置水下声学仪器, 开展长期被动声学监测, 不但可以掌握长江江豚的分布规律、群体规模及其变化, 而且可以为定量分析样地水域生态环境质量和鱼类等水生生物的丰度提供可信的依据, 继而可以为定量评价所监测水域人类活动对生态环境及水生生物扰动提供长期数据支撑。因此, 基于被动声学监测的长江江豚种群数量, 可作为一项重要的生态考核指标, 用于定量评价长江生态环境质量和水生生物多样性及其在时间和空间上的变化, 并用于考核相关保护工作的落实情况和实际的保护效果。

关键词: 长江江豚; 长江生态考核指标; 声纳信号; 被动声学监测; 生态环境质量; 鱼类资源; 水生生物多样性; 人类活动扰动

中图分类号: Q178.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2021)06-1390-06



长江江豚(*Neophocaena asiaorientalis asiaorientalis*)是我国特有的珍稀水生动物, 仅生存于长江中下游干流及与之相通的洞庭湖、鄱阳湖中, 也极可能是长江中仅存的大型水生哺乳动物。近年来, 长江江豚在湖北宜昌和江苏南京等城市江段频繁出现, 在江西鄱阳湖支流赣江扬子洲等水域活动频繁, 甚至在已多年未见江豚踪迹的湖北武汉江段不时出现, 使得长江江豚很快成为公众高度关注的长江“明星”物种, 乃至被各级媒体频繁用作“长江生态保护”的“代言人”。作为长江中的大型物种, 长江江豚处于食物链的顶端, 不但终身以小型鱼类

为食, 而且对栖息水域的生态环境质量, 包括水质、底质、洲滩和岸带等, 有较高要求, 同时对人类活动产生的扰动, 比如涉水工程建设、航道治理和船舶航运等活动及其产生的水下噪声等较敏感。因此, 长江江豚的种群分布和数量及其变化, 除了表征该物种自身的生存状况外, 还能表征其所栖息水域的生态环境质量、鱼类资源量和水生生物多样性, 及受人类活动扰动程度等状况。

长江作为复杂的生态系统, 不仅包括众多的生物及其自然栖息地, 而且包括生物之间、生物和环境之间的错综复杂的关联。多年以来, 已经有多项

收稿日期: 2021-10-10; 修订日期: 2021-11-25

基金项目: 国家自然科学基金(31430080)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31430080)]

作者简介: 王克雄(1963—), 男, 博士, 研究员; 主要从事鲸豚生物声学和行为生态学研究。E-mail: wangk@ihb.ac.cn

通信作者: 王丁(1958—), 男, 博士, 研究员; 主要从事鲸豚保护生物学研究。E-mail: wangd@ihb.ac.cn

单一型指标或复合型指标被用于,或被建议用于表征长江生态环境和水生生物多样性^[1-3],并且这些指标也具有一定的针对性和通用性,但是随着长江生态环境质量和水生生物多样性变化,尤其是近几十年来长江诸多大型物种先后走向“灭绝”^[4],或“极可能灭绝”^[5],或“极度濒危”^[6-8],引起了全社会的广泛关注和重视,因此有必要以长江中现存大型物种的生存状况为核心,建立一项新的生态考核指标,用于综合性地表征长江生态环境的总体健康状况和生物多样性的完整性。当然,作为一项生态考核指标,它还需容易被社会公众所理解和具有较好的可传播性,更重要的是还应能够及时有效地表征长江中重要旗舰物种的现存量和变化趋势。

目前,我国正在实施的“长江大保护”、“十年禁渔”、《长江保护法》等重大行动,无疑会对长江生态环境和鱼类等水生生物资源的恢复产生历史性影响。虽然长江中的白鱀豚(*Lipotes vexillifer*)、白鲟(*Psephurus gladius*)、长江鲟(*Acipenser dabryanus*)、中华鲟(*Acipenser sinensis*)等珍稀濒危水生动物的重现或完全恢复我们还难以预期^[4,5,7-10],但是作为长江中几乎是唯一幸存的大型物种,并且极可能是唯一以鱼为食的大型水生哺乳动物^[11-13],长江江豚的生存状况无疑已成为当前,甚至是未来较长时期内长江生态环境和鱼类等水生生物资源状况及其变化的最集中体现。长江江豚的种群分布和数量及变化也因此具备作为长江生态考核指标的基本属性,即对生态环境及生物多样性具有较综合的代表性,且能在时间和空间尺度上容易被量化,同时具有较高的社会认可度和较容易被传播。

本研究从长江江豚种群数量变化及其与长江生态环境和鱼类资源变化的一致性,长江江豚声纳信号的可监测性和可量化属性及其与种群分布和数量的关联性,采用被动声学监测技术监测长江江豚种群数量的可操作性等方面,系统介绍被动声学监测长江江豚种群分布和数量作为一项新的长江生态考核指标所具有的代表性、科学性和普及性等特征,为丰富长江生态考核指标的研究内容,乃至最终确立一项或多项生态考核指标提供支撑。

1 长江江豚数量是长江生态环境和水生生物多样性的综合表征

自20世纪90年代以来的30年间,长江江豚的种群数量持续下降,从早期约3000头下降到1012头左右^[11-13]。虽然长江江豚种群数量下降的原因有多种,但是最核心的原因不外乎生态环境恶化、鱼类资源下降和人类活动扰动增强。

长江江豚喜栖于水文环境条件相对稳定的沙洲附近、江湖交汇区和浅滩缓坡等水域,这些水域流速较缓,水深适度,水底泥沙沉积较丰厚,水生植被较完整,水下噪声弱^[14-16]。但是,受洲滩衰退、岸线大面积硬化、水文节律紊乱和航运噪声增强等多重影响,这些区域的自然生态环境发生了不同程度的变化^[17-22],导致长江江豚栖息地质量下降,适宜栖息地的面积大幅减小。

长江江豚终身以小型鱼类为食,居食物链的顶端。为维持生存和繁衍,长江江豚对栖息水域小型鱼类的密度和储量有基本要求,但是受生态环境变化和过度渔业活动双重影响,长江江豚栖息水域的小型鱼类资源量,甚至总体的鱼类资源量下降较明显^[19,23],导致长江江豚捕食过程中能量投入大幅增加,甚至出现部分江豚被迫在风险极高的码头区觅食^[24]。

近几十年来长江中下游生态环境质量和鱼类等水生生物资源量均持续下降,尽管已有一些单一型或复合型指标用于从不同侧面或不同层面描述这些下降过程,但是如何更具综合性地定量描述这些过程,目前尚未有可遵循的标准或规范。从近30年对长江江豚的调查结果分析表明,长江江豚的活动水域和集群规模等与小型鱼类的分布和密度密切相关^[24-26]。作为旗舰物种,长江江豚在遭受到生态环境质量和鱼类资源下降的压力下,虽然种群具有一定的自我调节能力,但其种群数量和分布的变化与长江环境及鱼类资源变化具有较明显的一致性^[11-13,23,27];或者说长江江豚的数量及分布变化是长江生态环境和鱼类资源变化的重要综合表征。

2 被动声学监测是调查长江江豚种群数量及分布的快捷和有效方法

长江江豚终身生活在水下,它们无时不发出高频声纳信号^[28,29]。声纳信号峰值频率为87—145 kHz,平均值为(125±6.92) kHz,3-dB带宽均值的变动范围为9.3—41.9 kHz。声纳信号是多个单脉冲组成的脉冲串,相邻脉冲串之间的时间间隔为5—6s,一个脉冲串内相邻两个单脉冲之间的时间间隔为20—70ms。

长江江豚声纳信号的时频特征与水下噪声的时频特征有较明显的不同,因此借助常规的超声记录和分析设备即可以有效记录长江江豚的声纳信号。已有较多的研究涉及到长江江豚声纳信号的脉冲串数量与发声个体数量的关系^[25,30-36],并基于与目视观察的比较结果,验证了基于声纳脉冲串数量分析长江江豚数量的可靠性,还建立了声纳脉冲串数量与长江江豚数量对照的简易模型,比如,在

长江干流、鄱阳湖口和迁地自然保护区水域, 每10min可以记录到长江江豚的脉冲串0—290个, 估算出长江江豚的密度为0—4.79 ind./km²。目前, 单个位点被动声学监测的水域范围为0.3—0.8 km², 但随着技术改进(降低设备自身噪声等)和分析方法的提升(机器学习), 单个位点监测范围可以达到1 km²或更大。

早期采用离线方法分析江豚的数量, 即在长江干流和湖区的被动声学记录结束后, 基于在实验室的进一步分析, 统计脉冲串的数量, 继而分析长江江豚的数量。为了避免这种方法的不及时性, 目前的被动声学监测采用了实时分析技术, 即实时识别长江江豚的声纳信号, 统计脉冲串的数量, 并估计长江江豚的数量, 甚至当使用双水听器时(立体声记录), 还具有辨识长江江豚所在方位的能力。借助4G/5G手机网络, 全部的实时数据能及时传递到手机或电脑终端, 系统还具有日报表和完善的统计等功能。因此, 从技术层面看, 被动声学监测可以作为调查长江江豚种群数量和分布的快捷和有效方法予以应用。

被动声学监测能全天候自动运行, 并将长江江豚的监测结果按时间序列及时传送到管理终端或平台, 这些数据具有时间连续性和空间的相对独立性, 适合于形成长时间序列报表, 及进行时间和空间上的比较, 继而用于客观评价这些水域生态环境质量及鱼类等水生生物资源量的时空变化等。

实时被动声学监测获得的数据较丰富, 除了长江江豚的群体大小和出现的时间及方位外, 还包括所监测水域船舶航运及施工水下噪声等, 甚至在设备上保留的原始监测数据还可以现场联机下载, 进行二次数据分析, 以挖掘更深入的生态环境、生物多样性和人类扰动等信息。

监测设备具有较强的适应恶劣环境的能力, 既易于安装在长江和湖区航标等水上构筑物上, 亦可安装于自建的水面浮台或水下沉台上, 并且日常维护工作量较小, 可使用太阳能等长期供电, 全天候自动运行。

随着长江大保护的深入, 对长江生态环境及水生生物资源的监测会越来越频繁, 参与的机构也会越来越多, 比如水利部门监测水文, 生态环境部门监测水质, 农业农村部门监测鱼类, 交通部门监测航运等, 但是这些部门的监测结果往往只是注重某一方面的问题, 较难以从更加综合性的层面上对长江生态环境和生物多样性进行评价。

长江江豚作为长江生态系统中的顶级捕食者, 对栖息环境及鱼类资源的变化非常敏感, 并且这种

敏感性会通过其种群数量和分布的变化较快地表现出来。同时, 采用被动声学监测技术调查长江江豚的种群数量, 在样点布局和监测时间等方面具有较高的灵活性, 既可对局部水域进行短期监测, 亦可通过多点布局或组网对大范围水域进行长期监测。监测结果具有实时性, 整个监测过程自动化程度高, 适合于经过短期训练的非专业人员操作。

通过被动声学方法监测长江江豚的分布和数量, 虽然在技术及应用上已经被证明是有效和便捷的, 但是将其作为一项新的长江生态考核指标并予以应用, 还需要进一步构建和示范。最理想的状况是, 在长江中下游干流和重要支流, 及洞庭湖和鄱阳湖及重要支流等水域, 按照水域的行政管辖权布置合适数量的水下被动声学监测设备, 启动全天候长江江豚的监测工作, 并以月份为基本时间单位, 逐月自动统计长江江豚的监测结果, 通过4G/5G手机网络以报表的形式自动向上一级管理机构发送监测结果。上一级管理机构可以将这些报表作为主要依据, 根据不同考核周期内长江江豚的数量和分布区域的变化情况, 对水域行政管理机构进行定量考核。考虑到设备一次性投入较大, 在初期可以减少布点的数量, 选择特别重要的水域布点, 后期再增加投入, 增加布点的密度, 提高监测点的覆盖度, 提升监测数据的综合性和代表性, 最终建立应用规范。

目前, 已经或即将在湖北长江新螺段白暨豚国家级自然保护区(老湾故道)、湖北石首天鹅洲白暨豚国家级自然保护区(天鹅洲故道)、安徽铜陵淡水豚国家级自然保护区(夹江)和江西鄱阳湖(棠荫岛水域)布置多台水下声学自动监测仪器, 启动这些水域长江江豚的自动监测计划, 并获得了大量的监测数据。

总之, 被动声学监测长江江豚种群数量和分布作为长江生态考核指标, 在以下方面具有明显的优势: (1)对长江生态环境和资源状况具有较强的综合表征能力; (2)具有可量化属性, 并且可以在较大时空尺度上进行比较和定量评价; (3)易于向非专业机构普及, 并且社会公众容易理解指标的表述及内涵; (4)目前已经启动了长江江豚被动声学监测计划, 并在部分重点水域进行了试点, 取得了较好的监测效果。

3 结语

长江江豚作为极可能是长江中仅存的大型捕食者, 其对长江生态环境和鱼类等水生生物资源的变化极其敏感, 采用实时被动声学监测技术获得长江江豚种群数量和分布的信息, 不但在技术上和应

用上极具有可操作性, 而且所获得的种群数量和分布及其时空变化, 可作为综合反映长江生态环境质量和水生生物多样性的重要生态考核指标予以应用。

长江江豚的自然分布区仅限于长江中下游干流和主要支流, 以及洞庭湖和鄱阳湖及支流, 因此长江江豚的分布和种群数量及变化主要用于定量评价这些水域的生态环境质量和水生生物多样性, 难以覆盖长江上游段及支流。但是, 长江和与之相连的支流及湖泊等, 无论是水文及生态环境, 还是鱼类等水生生物, 甚至人类活动等, 并非是完全相同或具同质性的, 而是在不同的江段和区域各具有差异性。因此, 某项长江生态考核指标的适用性也难以覆盖全流域。在生态考核指标的选择上, 应结合各地的自然条件、社会状况和经济形势, 选择最具适合度的指标作为生态考核指标予以应用, 才能更好地平衡保护与发展的关系, 促进人与自然相和谐。

参考文献:

- [1] Qiu L, Zhai H J, Xu J. Research and construction of evaluation index system of water function zone in mid-lower reaches of Yangtze River [J]. *Yangtze River*, 2013, **44**(3): 75-77. [邱凉, 翟红娟, 徐嘉. 长江中下游水功能区考核指标体系研究与构建 [J]. *人民长江*, 2013, **44**(3): 75-77.]
- [2] Wu Y X, Luo H, Liang Z K. Ecological security measurement of the Yangtze River economic belt [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(19): 6761-6775. [吴艳霞, 罗恒, 梁志康. 长江经济带生态安全测度研究 [J]. *生态学报*, 2020, **40**(19): 6761-6775.]
- [3] Zou X, Yang Z, Zheng Z W, et al. Health assessment of river habitat in typical regions of the Yangtze River mainstream [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, **29**(10): 2219-2228. [邹曦, 杨志, 郑志伟, 等. 长江干流典型区域河流生境健康评价 [J]. *长江流域资源与环境*, 2020, **29**(10): 2219-2228.]
- [4] Zhang H, Jaric I, Roberts D L, et al. Extinction of one of the world's largest freshwater fishes: lessons for conserving the endangered Yangtze fauna [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **710**: 136242.
- [5] Turvey S T, Pitman R L, Taylor B L, et al. First human-caused extinction of a cetacean species [J]? *Biology Letters*, 2007, **3**(5): 537-540.
- [6] Wang D, Turvey S T, Zhao X J, et al. *Neophocaena asi-aorientalis* ssp. *asi-aorientalis* [R]. The IUCN Red List of Threatened Species. 2013, e. T43205774A45893487. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T43205774A45893487.en>.
- [7] Wei Q W. *Acipenser dabryanus* (errata version published in 2020) [R]. The IUCN Red List of Threatened Species. 2010, e. T231A174775412. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-1.RLTS.T231A174775412.en>.
- [8] Wei Q W. *Acipenser sinensis* [R]. The IUCN Red List of Threatened Species. 2010, e. T236A13044272. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-1.RLTS.T236A13044272.en>.
- [9] Wei Q W. Conservation of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) based on its life history: Dilemma and breakthrough [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2020, **32**(5): 1297-1319. [危起伟. 从中华鲟(*Acipenser sinensis*)生活史剖析其物种保护: 困境与突围 [J]. *湖泊科学*, 2020, **32**(5): 1297-1319.]
- [10] Turvey S T, Barrett L A, Hao Y J, et al. Rapidly shifting baselines in Yangtze fishing communities and local memory of extinct species [J]. *Conservation Biology*, 2010, **24**(3): 778-787.
- [11] Zhao X J, Barlow J, Taylor B L, et al. Abundance and conservation status of the Yangtze finless porpoise in the Yangtze River, China [J]. *Biological Conservation*, 2008, **141**: 3006-3018.
- [12] Mei Z G, Zhang X Q, Huang S L, et al. The Yangtze finless porpoise: on an accelerating path to extinction [J]? *Biological Conservation*, 2014, **172**: 117-123.
- [13] Huang J, Mei Z G, Chen M, et al. Population survey showing hope for population recovery of the critically endangered Yangtze finless porpoise [J]. *Biological Conservation*, 2020, **241**: 108315.
- [14] Wei Z, Zhang X, Wang K, et al. Habitat use and preliminary evaluation of the habitat status of the Yangtze finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides asi-aorientalis*) in the Balijiang section of the Yangtze River, China [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2003, **49**(2): 163-170. [魏卓, 张先锋, 王克雄, 等. 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 [J]. *动物学报*, 2003, **49**(2): 163-170.]
- [15] Yu D, Wang J, Yang G, et al. Preliminary analysis on habitat selection of finless porpoise in spring from Hukou to Digang section of the Yangtze River [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2005, **25**(3): 302-306. [于道平, 王江, 杨光, 等. 长江湖口至荻港段江豚春季对生境选择的初步分析 [J]. *兽类学报*, 2005, **25**(3): 302-306.]
- [16] Wang K X, Wang D. Analysis of impact of waterway adjustment activities on Yangtze finless porpoise and mitigation measures [J]. *Environmental Impact Assessment*, 2015, **37**(3): 13-17. [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 [J]. *环境影响评价*, 2015, **37**(3): 13-17.]
- [17] Chen M M, Liu Z G, Huang J, et al. Effects of artificial shorelines on distribution of the Yangtze finless porpoise in the Anqing section of the Yangtze River main stem [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(3): 945-952. [陈敏敏, 刘志刚, 黄杰, 等. 固化河岸对长江江豚栖息活动的影响 [J]. *生态学报*, 2018, **38**(3): 945-952.]
- [18] Zhang J X, Chen M, Han Y, et al. Riverbank habitat as-

- assessment of the Yangtze finless porpoise in the main stem of middle-lower Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(S1): 56-61. [章晋秀, 陈懋, 韩祎, 等. 长江中下游干流江豚岸线栖息地质量评估 [J]. *水生生物学报*, 2019, **43**(S1): 56-61.]
- [19] Wang H Z, Liu X Q, Wang H J. The Yangtze River-flood-plain ecosystem: multiple threats and holistic conservation [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(S1): 157-182. [王洪铸, 刘学勤, 王海军. 长江河流-泛滥平原生态系统面临的威胁与整体保护 [J]. *水生生物学报*, 2019, **43**(S1): 157-182.]
- [20] Wang Z T, Akamatsu T, Duan P X, *et al.* Underwater noise pollution in China's Yangtze River critically endangers Yangtze finless porpoises (*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*) [J]. *Environmental Pollution*, 2020, **262**: 114310.
- [21] Chen Y, Qu X, Xiong F, *et al.* Challenges to saving China's freshwater biodiversity: Fishery exploitation and landscape pressures [J]. *Ambio*, 2020, **49**(4): 926-938.
- [22] Pan B Z, Liu X Y. A review of water ecology problems and restoration in the Yangtze River basin [J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2021, **38**(3): 1-8. [潘保柱, 刘心愿. 长江流域水生生态问题与修复述评 [J]. *长江科学院院报*, 2021, **38**(3): 1-8.]
- [23] Liu F, Lin P C, Li M Z, *et al.* Situations and conservation strategies of fish resources in the Yangtze River basin [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(S1): 144-156. [刘飞, 林鹏程, 黎明政, 等. 长江流域鱼类资源现状与保护对策 [J]. *水生生物学报*, 2019, **43**(S1): 144-156.]
- [24] Wang Z T, Akamatsu T, Mei Z G, *et al.* Frequent and prolonged nocturnal occupation of port areas by Yangtze finless porpoises (*Neophocaena asiaeorientalis*): Forced choice for feeding [J]? *Integrative Zoology*, 2015, **10**: 122-132.
- [25] Kimura S, Akamatsu T, Li S, *et al.* Seasonal changes in the local distribution of Yangtze finless porpoises related to fish presence [J]. *Marine Mammal Science*, 2012, **28**: 308-324.
- [26] Zhang X, Yu D, Wang H, *et al.* Effects of fish community on occurrences of Yangtze finless porpoise in confluence of the Yangtze and Wanhe Rivers [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, **22**(12): 9524-33.
- [27] Fu C Z, Wu J H, Chen J K, *et al.* Freshwater fish biodiversity in the Yangtze River basin of China: patterns, threats and conservation [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2003, **12**: 1649-1685.
- [28] Li S H, Wang K, Wang D, *et al.* Echolocation signals of the free-ranging Yangtze finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*) [J]. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2005, **117**(5): 3288-3296.
- [29] Fang L, Wang D, Li Y, *et al.* The source parameters of echolocation clicks from captive and free-ranging Yangtze finless porpoises (*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*) [J]. *PLoS One*, 2015, **10**(6): e0129143.
- [30] Wang K, Wang D, Akamatsu T, *et al.* A passive acoustic monitoring method applied to observation and group size estimation of finless porpoises [J]. *Journal of Acoustical Society of America*, 2005, **118**(2): 1180-1185.
- [31] Wang K, Wang D, Akamatsu T. Bio-logging technology and its applications on aquatic mammals [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, **29**(1): 91-96. [王克雄, 王丁, 赤松友成. 水生哺乳动物信标跟踪记录技术及其应用 [J]. *水生生物学报*, 2005, **29**(1): 91-96.]
- [32] Akamatsu T, Wang D, Wang K, *et al.* Estimation of the detection probability for Yangtze finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*) with a passive acoustic method [J]. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2008, **123**(6): 4003-4009.
- [33] Kimura S, Akamatsu T, Li S, *et al.* Density estimation of Yangtze finless porpoises using passive acoustic sensors and automated click train detection [J]. *Journal of Acoustical Society of America*, 2010, **128**(3): 1435-1445.
- [34] Dong S Y, Dong L J, Li S H, *et al.* Effects of vessel traffic on the acoustic behavior of Yangtze finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*) in the confluence of Poyang Lake and the Yangtze River: using fixed passive acoustic observation methods [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, **36**(2): 246-254. [董首悦, 董黎君, 李松海, 等. 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 [J]. *水生生物学报*, 2012, **36**(2): 246-254.]
- [35] Dong L J, Wang D, Wang K, *et al.* Yangtze finless porpoises along the main channel of Poyang Lake, China: Implications for conservation [J]. *Marine Mammal Science*, 2015, **31**: 612-628.
- [36] Zhou L, Chen X, Duan, P X, *et al.* Spatial-temporal variations in biosonar activity of Yangtze finless porpoise in the lower reaches of the Yangtze River and its correlation with underwater noise: Are quieter non-shipping branches the remaining shelters [J]? *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2021, **31**: 964-978.

ECOLOGICAL ASSESSMENT INDICATOR OF THE YANGTZE RIVER: PASSIVE ACOUSTIC MONITORING BASED POPULATION SIZE OF THE YANGTZE FINLESS PORPOISE

WANG Ke-Xiong¹, WANG Zhi-Tao¹, MEI Zhi-Gang¹, ZHENG Jin-Song¹, HAO Yu-Jiang¹,
HAN Yi¹, DUAN Peng-Xiang¹, CHEN Yu-Wei^{1,2}, YANG Yi-Ning^{1,2}, QIU Jian-Song^{1,2},
FAN Fei¹, DENG Xiao-Jun¹ and WANG Ding¹

(1. Key Laboratory of Aquatic Biodiversity and Conservation of Chinese Academy of Sciences, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 10049, China)

Abstract: As a complicate ecosystem, the Yangtze River includes numerous organisms and their habitats, as well as the complex relationships among the organisms and between organisms and the natural environment. Under both natural effects and human influences, the stability and variability of the river ecosystem has been extensively concerned. So far, there have been some single or compound indicators, with certain pertinence and universality, used to characterize the eco-environment quality and biodiversity level of the river. But as the eco-environment of the river is constantly changing, especially caused by the human disturbance, several large species in the river have been “extinction”, or “most likely extinction”, or “critically endangered”, therefore, at this stage, it is necessary to establish a new ecological assessment indicator based mainly on the survival conditions of existing large species in the river. The new indicator will be used to comprehensively characterize the health status and biodiversity integrity of the river ecosystem, and to provide scientific and technological support for the well implementation of the “10-year fishing ban” and the “Yangtze River Protection Law”. The Yangtze finless porpoise (*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*) only distributes in the middle and lower reaches of the Yangtze River, Dongting and Poyang Lakes, and likely, has been the only aquatic mammal in the river. Over the years, the porpoise has received high attention from all walks of life and has become a “star” species in the river. The changes of porpoise population distribution and size are closely related to the changes of eco-environment and fish resources in the river, which have the basic attributes of comprehensively representing the eco-environmental quality, fish resources, biodiversity and their changes. In the complex underwater acoustic environment, the sonar signals of the porpoise have distinct time-frequency characteristics and are easily detectable and quantifiable. The sonar signals have been widely used for passive acoustic monitoring and real-time identification, as well as group size estimation of the porpoise in the wild. Meanwhile, the employment of the passive acoustic monitoring for detection of the porpoises in the wild is convenient and highly efficient, and even for non-professionals with short term training. Long-term employment of underwater passive acoustic monitoring in sample sites along the river and in the lakes can detect the occurrence of the porpoise, group size and their changes. The detection results can be used not only for quantitative analysis of eco-environmental quality, fish resources and aquatic biodiversity in the sample sites, but also for quantitative evaluation of the anthropogenic disturbance to the eco-environment and aquatic biodiversity. Therefore, the population distribution and size of the porpoise based on passive acoustic monitoring can be employed as an important ecological assessment indicator to evaluate the eco-environmental quality and aquatic biodiversity, as well as their temporal-spatial changes along the river and in the lakes. Meanwhile, the indicator could be used to evaluate the implementation of relevant protection work and the actual protection effect.

Key words: Yangtze finless porpoise; Ecological assessment indicator; Sonar signal; Passive acoustic monitoring; Eco-environmental quality; Fish resources; Aquatic biodiversity; Anthropogenic disturbance