

噪声对鱼类影响研究现状与展望

占慧芬^{1,2}, 李晓兵³, 尼玛旦增⁴, 张占⁴, 达瓦⁴, 王艳⁵, 刘振彪^{1,2},
刘媛媛^{1,2}, 何晨睿^{1,2}, 石小涛^{1,2}, 刘国勇^{1,2}

(1. 湖北省鱼类过坝技术国际科技合作基地, 三峡大学, 湖北 宜昌 443002;

2. 三峡大学水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002;

3. 中水北方勘测设计研究有限责任公司, 天津 300222;

4. 西藏自治区水利电力规划勘测设计研究院, 西藏 拉萨 850000;

5. 三峡大学土木与建筑学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要:噪声会对鱼类行为和生理造成各种负面影响, 研究噪声的影响在鱼类资源保护中具有重要意义。总结了噪声对鱼类听力、信息掩蔽、生理和行为等方面影响的研究现状, 指出了目前的研究在实验声场场景、声波粒子运动、实验设置形式和试验周期监测等方面存在的不足, 并针对当前的研究缺陷, 提出了模拟真实声场场景、探测声波粒子运动对鱼类的影响、开展多样化形式的噪声暴露实验并进行周期性监测等建议, 为噪声对鱼类影响的进一步研究提供思路。

关键词:噪声; 鱼类行为; 鱼类听力; 信息掩蔽; 鱼类生理; 声波粒子运动

中图分类号:X835 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2023)06-0142-06

近年来, 随着航运、港口、海上风电场建设和运营需求的增加, 人为活动产生的噪声也在增加。时间短、高频率的噪声会导致鱼类耗氧量、皮质醇、葡萄糖、乳酸等生理指标短时间内发生变化, 从而改变鱼类游泳速度、深度以及运动方向, 影响鱼类集群(Herbert-Read et al, 2017); 低频率人为水下噪声影响鱼类的听觉敏感度, 强烈噪声刺激下鱼类的听觉阈值会发生暂时或永久性偏移(Popper & Fay, 2011); 另外, 噪声可能威胁到鱼类重要的行为功能, 如物种识别、生殖交配、觅食和进食、种群信息交流等(Voellmy et al, 2014; Nedelec et al, 2016; Radford et al, 2016; Shannon et al, 2016; Spiga et al, 2017)。

目前, 水下噪声对鱼类的影响已经成为一个严重的生态问题。随着噪声水平逐步上升, 在噪声对鱼类多样性和水下生态系统造成不可逆的损害之前, 有必要对噪声采取合理的管控措施。因此, 开展

噪声对鱼类的影响研究已迫在眉睫。本文总结概括了噪声对鱼类行为和生理影响等方面的相关研究进展, 指出了存在的不足, 并提出了相关改进建议, 以期噪声管理和水生生态保护提供参考。

1 鱼类的声学互作

鱼类的听觉系统包括内耳、气鳔等周边附属结构和听觉中枢。鱼鳔可以辅助内耳感知16~300 Hz频率的振动, 内耳石可以感知声音振动的方向; 此外, 鱼体表的侧线可感受到水波振动, 同时接收低频和超低频振动, 以感受50~150 Hz的低频振动为主(Popper et al, 2003); 多数鱼能听到50~1 000 Hz的声频, 极少数鱼可以听到100 kHz以上的声音(申钧, 1983; 邢彬彬等, 2018)。

与嗅觉和视觉感官相比, 听觉信号的优势在于可以向各个方向长距离传播(Rogers & Cox, 1988)。因此, 声音是鱼类确定方向和寻找合适栖息地的重要信号之一(Tolimieri et al, 2000; Montgomery et al, 2006; Simpson et al, 2008; Radford et al, 2011)。声音在成年鱼的聚集产卵、求偶互动、领土保护和维持鱼群的凝聚力方面也有重要作用(Mann et al, 1998; Popper et al, 2003)。例如, 黑线鳉(*Melanogrammus aeglefinus*)在产卵聚集或求偶互动中, 通过呼叫发出声音并且同步释放配子以进行配偶选择(Amorim et al, 2015); 腋孔蟾鱼(*Halobatrachus didactylus*)交配成功与否取决于求

收稿日期: 2022-05-05 修回日期: 2023-03-29

基金项目:国家自然科学基金(52179070); 国家优秀青年科学基金(51922065); 湖北省鱼类过坝技术国际科技合作基地开放基金课题(HIBF-2020007)。

作者简介:占慧芬, 1997年生, 女, 硕士研究生, 研究方向为声驱鱼技术。E-mail: 2536870419@qq.com

通信作者:刘国勇, 1972年生, 男, 教授, 主要从事水生态学、生态水利学教学和科研工作。E-mail: 278113027@qq.com

偶期间雄性的声音;繁殖季节的鱼类会聚集在一起,雄性蟾鱼会主动发声以吸引雌性(Alves et al,2016)。

声音在鱼类领地防御中起到一定作用,面对同种或异种的侵略,鱼类通过发出声音保护自身。研究发现,毒棘豹蟾鱼(*Opsanus tau*)在繁殖时期会发出破坏性的咕噜声干扰来自其他雄性发出的信号,以宣示领地主权并警告其他雄性,达到保护自身作用(Mensing,2014);红腹食人鱼(*Pygocentrus nattereri*)在捕食的过程中会对同类发出警告声,以此来宣示自身对食物或者领地的主权(Millot et al,2011)。

部分鱼类还会利用声音作为联系信号来维持鱼群的凝聚力。例如,新西兰大眼鲷(*Espempheris adspersa*)发出相同的叫声时就会聚集在一起,且暴露于较高声级的环境礁声时,其群体凝聚力会显著增加(Van Oosterom et al,2016)。

2 噪声对鱼类行为的影响

目前,噪声对鱼类行为的影响已经从游泳速度、空间位置、摄食、产卵等方面开展了相关研究。

噪声刺激会使鱼类的游泳速度显著性增加,鱼群会短暂向各个方向扩散,其结构和运动方向发生改变。大西洋鲱(*Clupea harengus*)在虎鲸(*Orcinus orca*)进食声音刺激下会加快游泳速度(Doksæter et al,2009);纯黑朴丽鱼(*Haplochromis piceatus*)在95 dB(100~1 000 Hz)的人工噪声下会向下移动,并在鱼缸底部停留更长时间(Sabet et al,2016);此外,与环境声音播放不同,经历打桩噪声播放的实验鱼,其凝聚力降低、方向感变差,个体之间相互协调运动的能力显著降低(Herbert-Read et al,2017)。

鱼类在噪声刺激下,觅食总量也会发生改变。McLaughlin & Kunc(2015)发现噪声使黑斑盘雀鲷(*Dischistodus melanotus*)的躲藏时间增加,导致觅食个体数量减少,从而降低采食量;Magnhagen等(2017)发现在噪声刺激下,鲈(*Lateolabrax japonicus*)和斜齿鳊(*Rutilus rutilus*)觅食努力尝试次数减少。

噪声还会降低鱼类产卵的成功率。Blom等(2019)研究表明,持续的噪声会导致鱼类产卵延迟,从而降低其产卵的可能性;De Jong等(2018)测试了连续噪声对黄体尻虾虎鱼(*Gobiusculus flavescens*)和大眼长臀鰕虎鱼(*Pomatoschistus pictus*)的求偶情况,发现二者的求偶行为均有所减少,且大眼长臀鰕虎鱼的产卵成功率显著降低。

3 噪声对鱼类生理的影响

噪声会导致鱼类听力受损,阻碍鱼类之间信息交流,对寻求配偶产生不利影响,干扰鱼类回声定位;促使鱼体内生理激素指标升高,生理应激指标发生不适变化,强烈的噪声刺激还会损伤鱼体器官。

3.1 对鱼类听力阈值的恢复和损伤

长期暴露在噪音下,鱼的内耳毛细胞出现疲劳,会发生暂时性听阈偏移(TTS)或永久性听阈偏移(PTS)。Crovo等(2015)发现暴露在交通道路噪声下的迷人真小鲤(*Cyprinella venusta*)对不同声频的听觉阈值都显著增加;McCauley等(2003)发现在气枪噪声(205~210 dB)刺激下,白斑狗鱼(*Esox lucius*)听觉阈值偏移20 dB,铅鱼(*Couesius plumbeus*)最大听力阈值偏移为35 dB。

暂时性听阈偏移(TTS)会降低鱼类交流或评估环境的能力,但TTS是可恢复的。鱼类内耳毛细胞的修复或替换,使得其听觉阈值偏移得以恢复,恢复时间则取决于暴露噪声的持续时间。Scholik & Yan(2001)发现在噪声暴露2 h(142 dB)后,黑头呆鱼(*Pimephales promelas*)听觉阈值在6 d内完全恢复,而在噪声暴露24 h后,听觉阈值在14 d仍未完全恢复,该研究说明听觉阈值的恢复与暴露于噪声的持续时间具有密切关联;Popper等(2005)分析了气枪噪声(205~210 dB)对鱼类听觉阈移后恢复情况,发现听觉灵敏度较高的铅鱼,其阈值损失恢复时间在18 h以内,而灵敏度较差的白斑狗鱼恢复时间则需24 h。可见不同鱼类在相同噪声刺激后的恢复时间具有显著差异。

永久性听阈偏移(PTS)是耳朵中感觉毛细胞死亡、支配听觉神经纤维受损或听觉通路中其他组织(鳔)受损的结果,PTS是不可逆的。研究表明,粉红鲷(*Pagrus auratus*)在长期暴露于气枪噪声(峰值222.6 dB)后,其听力结构严重受损,无恢复迹象(McCauley et al,2003);黑头呆鱼在暴露于142 dB(300~2000 Hz)噪声14 d后没有恢复听力阈值(Scholik et al,2001)。这些研究结果充分表明,鱼类长时间暴露在嘈杂的噪声环境中将会永久地改变听力阈值。

3.2 对鱼类信号识别的掩蔽作用

在相同的临界波段宽度下,人为活动会产生接近或高于鱼类发声水平的大型近场背景噪声,这种噪声有可能“掩盖”生物上重要的信号,阻止鱼类听到并识别这种声信号(Neenan et al,2016)。人为噪

声的掩蔽可能会干扰发声鱼类对于其同类的信息判断。这是由于引入的噪声提高了环境声音水平并降低了信噪比,从而缩短了鱼类信号检测距离,导致其对声信号检测变得更加困难(Andersson, 2011)。这种掩蔽效应可能阻碍鱼类之间信息交流,对鱼类寻求配偶产生不利影响并干扰其回声定位。

噪声会阻碍鱼类之间的信息交流,影响鱼类对声信号的接收。Codarin等(2009)研究发现,环境噪声和船舶噪声(115~125 dB)会干扰短身光鳃雀鲷(*Chromis chromis*)、弓背石首鱼(*Sciaena umbra*)和红嘴虾虎鱼(*Gobius cruentatus*)的声波通讯及对同种声音的探测。

噪声会对鱼类寻求配偶产生不利影响(Wollerman & Wiley, 2002)。Vasconcelos等(2007)发现船舶噪声使腋孔蟾鱼的听力阈值显著增加,造成其接收同种声音的能力减弱,这可能会影响其寻找配偶;Bent等(2021)观察到与对照组相比,彩绘虾虎鱼(*Pomatoschistus pictus*)暴露在交通噪声和白噪声环境下,鱼类会对异性求爱信号的识别产生延迟,因此可能会降低鱼类交配的成功率。

噪声会干扰鱼类回声定位。部分鱼类幼体能利用周围的环境噪声来确定理想栖息地的方位,而人为噪声污染可能会干扰幼体的定居过程,鱼类可能会因为无法找到合适的定居地点而缺乏食物,或被捕食甚至死亡(Radford et al, 2010; Holles et al, 2013)。

3.3 引起鱼类的其他生理反应

噪声刺激还会导致鱼类发生其他生理变化,这种变化在一定程度上反映出了鱼类的健康状况,主要表现为糖皮质激素、皮质醇、血糖、乳酸、血浆等生理指标的上升以及呼吸(通气)率、耗氧量等生理应激指标发生剧烈变化;此外,强烈的噪声刺激还会损害鱼体的生理器官。

血浆、皮质醇和血糖等生理指标已被广泛接受为评估环境或生物压力因素对鱼类影响的指标(Reiner, 2011)。Debusschere等(2016)进行了打桩声暴露实验,发现海鲈(*Dicentrarchus labrax*)的皮质醇、耗氧率和全身乳酸浓度显著降低;Celi等(2016)把金头鲷(*Sparus aurata*)暴露在船舶噪声下,发现其ACTH、皮质醇、葡萄糖、乳酸、红细胞压积、Hsp70、胆固醇、甘油三酯和渗透压值均显著增加。

呼吸(通气)率、耗氧量是生理压力的重要指标,在一定程度上同样能反应鱼体健康情况。Kusku等(2020)研究表明,尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)长期暴露在水下施工所产生的噪声下,其鳃盖搏动

和胸翼运动会显著增加;Radford等(2016)观察到,与对照组相比,暴露在打桩声中的欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax*),其鳃盖搏动率会显著升高。

强烈的噪声刺激会造成鱼体的器官损伤。Halvorsen等(2012)把湖鲮(*Acipenser fulvescens*)和尼罗罗非鱼暴露在打桩声环境下,发现2种鱼的鱼鳔均有损伤;Casper等(2013)让杂交条纹鲈(*Morone saxatilis*)和罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)暴露于打桩声下,二者都表现出气压创伤,生理活性大大降低。

4 展望

有关噪声对鱼类的影响研究广泛并已取得了一定成果,但在模拟声场场景中也存在不足,缺乏声场粒子运动的研究,噪声暴露实验设置形式过于单一、缺乏周期性监测。因此,未来探究噪声对鱼类影响应从以下几个方面开展。

4.1 模拟真实的自然环境声场

改进实验设计,尽可能模拟真实的声场场景。目前大量的实验都是在室内水槽或网箱中进行的,或是在开放性水域的围场中进行的;理想的情况下,噪声暴露实验应设计在自然水生环境中。今后的实验开展应尽量选择野外实地或设计出接近实地的开放性水域。

4.2 探测粒子运动对鱼类的影响

粒子运动的检测对于所有鱼类(无脊椎动物)的听力是不可或缺的,可被用于定位声源的方向。然而,目前声波粒子运动研究多通过声压来计算粒子相关性质(Nedelec et al, 2016),极少能真实模拟声波粒子运动,且鱼类使用的频率通常无法达到计算粒子相关性质所需。人为噪声源可能对鱼类和无脊椎动物产生近场效应,近场效应对这些鱼类和无脊椎动物的影响程度与声波粒子运动有关而与声压无关。

Popper & Hawkins(2018)指出,探究粒子运动对鱼类影响的主要困难是难以测量粒子运动和对粒子运动建模,以及缺乏关于粒子运动对鱼类可能造成不利影响的实验数据。因此,基于该问题本文提出以下建议:

(1)克服在不同水环境中测量粒子运动和对粒子运动建模的困难,探究阻碍粒子运动量化的主要障碍,然后予以消除。

(2)使用正确校准的传感器进行粒子运动测量,研究鱼类对粒子运动的探测能力,更好地理解鱼类

对粒子运动探测的力学和生理学机制, 并确定其对粒子运动的敏感性。

(3)改进评估方法, 应采用更科学的方法进行评估, 并根据鱼类对粒子运动的敏感性获得更可靠的听力测量。

(4)探究高粒子运动水平对鱼类死亡率、损伤和听力损失、掩蔽以及生理和行为变化的影响。如果是粒子运动导致的鱼类损伤, 确定这种影响的机制, 以评估其产生粒子运动对鱼类产生的不利影响。

4.3 开展多样化噪声暴露实验

噪声暴露实验形式应多种化, 适当增加实验监测周期。鱼类对不同噪声刺激的反应会随着暴露形式而发生变化。截至目前, 大多数调查都涉及短时噪声暴露后的反应变量, 且未进行周期性监测, 仅有少数研究是关于重复、连续或不规则长期暴露于人类产生的声音的信息。因此, 应开展噪声暴露时间和播放形式方面的研究并进行周期性监测。

5 结论

噪声对鱼类行为和听力、信息掩蔽及其他生理等多方面产生的主要不利影响如下:

(1)鱼类行为在一定程度噪声刺激下会发生变化, 通常表现为鱼类游泳速度显著性增加, 其觅食量相应减少, 产卵成功率降低。

(2)受噪声刺激, 鱼类的听觉阈值可能会出现暂时性听觉阈移(PTS)或永久性听觉阈移(TTS), PTS可恢复, TTS则不可逆转。

(3)噪声会对鱼类接收声信号产生掩蔽效应, 阻碍鱼类之间信息交流, 对鱼类寻求配偶产生不利影响, 干扰鱼类回声定位。

(4)噪声会促使鱼体内的血浆、皮质醇、乳酸和血糖等生理激素指标升高, 使鱼的呼吸(通气)率、耗氧量等发生变化, 强噪声刺激会损伤鱼体器官。

参考文献

申钧, 1983. 鱼类听觉器官的结构与功能[J]. 生理科学进展, 14(1):60-64.

邢彬彬, 许柳雄, 殷雷明, 等, 2018. 鱼类的听觉特性与应用研究进展[J]. 海洋渔业, 40(4):495-503.

Alves D, Amorim M C P, Fonseca P J, et al, 2016. Assessing acoustic communication active space in the Lusitanian toadfish[J]. Journal of Experimental Biology, 219(8): 1122-1129.

Amorim M C P, Vasconcelos R O, Fonseca P J, 2015. Fish

sounds and mate choice[C]/F. Ladich (Ed.), Sound communication in fishes[M]. Vienna, Austria: Springer Vienna.

Andersson M H, 2011. Offshore wind farms—ecological effects of noise and habitat alteration on fish[D]. Department of Zoology: Stockholm University.

Bent A M, Ings T C, Mowles S L, et al, 2021. Anthropogenic noise disrupts mate choice behaviors in female *Pomatoschistus pictus*[J]. Behavioral Ecology, 32(2):201-210.

Blom E L, Kvarnemo C, Dekhla I, et al, 2019. Continuous but not intermittent noise has a negative impact on mating success in a marine fish with paternal care[J]. Scientific Reports, 9(1):1-9.

Casper B M, Smith M E, Halvorsen M B, et al, 2013. Effects of exposure to pile driving sounds on fish inner ear tissues [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 166(2):352-360.

Celi M, Filiciotto F, Maricchiolo G, et al, 2016. Vessel noise pollution as a human threat to fish: assessment of the stress response in gilthead sea bream (*Sparus aurata*, Linnaeus 1758) [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 42(2):631-641.

Codarin A, Wysocki L E, Ladich F, et al, 2009. Effects of ambient and boat noise on hearing and communication in three fish species living in a marine protected area (Miramare, Italy) [J]. Marine Pollution Bulletin, 58(12):1880-1887.

Crovo J A, Mendonça M T, Holt D E, et al, 2015. Stress and auditory responses of the otophysan fish *Cyprinella venusta* to road traffic noise[J]. PloS ONE, 10(9):e0137290.

De Jong K, Amorim M C P, Fonseca P J, et al, 2018. Noise can affect acoustic communication and subsequent spawning success in fish[J]. Environmental Pollution, 237:814-823.

Debusschere E, Hostens K, Adriaens D, et al, 2016. Acoustic stress responses in juvenile sea bass *Dicentrarchus labrax* induced by offshore pile driving[J]. Environmental Pollution, 208:747-757.

Doksæter L, Rune G O, Olav H N, et al, 2009. Behavioral responses of herring (*Clupea harengus*) to 1-2 and 6-7 kHz sonar signals and killer whale feeding sounds[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 125(1):554-564.

Halvorsen M B, Casper B M, Matthews F, et al, 2012. Effects of exposure to pile-driving sounds on the lake sturgeon, Nile tilapia and hogchoker[J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 279:4705-4714.

Herbert-Read J E, Kremer L, Bruintjes R, et al, 2017. Anthropogenic noise pollution from pile-driving disrupts the structure and dynamics of fish shoals[J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 284:20171627.

- Holles S, Simpson S D, Radford A N, et al, 2013. Boat noise disrupts orientation behaviour in a coral reef fish[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 485:295–300.
- Kusku H, Yigit Ü, Yilmaz S, et al, 2020. Acoustic effects of underwater drilling and piling noise on growth and physiological response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Aquaculture Research*, 51(8):3166–3174.
- Magnhagen C, Johansson K, Sigray P, et al, 2017. Effects of motorboat noise on foraging behaviour in Eurasian perch and roach: a field experiment[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 564:115–125.
- Mann D A, Lu Z, Hastings M C, et al, 1998. Detection of ultrasonic tones and simulated dolphin echolocation clicks by a teleost fish, the American shad (*Alosa sapidissima*) [J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 104(1): 562–568.
- McCauley R D, Fewtrell J, Popper A N, et al, 2003. High intensity anthropogenic sound damages fish ears[J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 113(1):638–642.
- McLaughlin K E, Kunc H P, 2015. Changes in the acoustic environment alter the foraging and sheltering behaviour of the cichlid *Amititlania nigrofasciata*[J]. *Behavioural Processes*, 116:75–79.
- Mensing A F, 2014. Disruptive communication: stealth signaling in the toadfish[J]. *Journal of Experimental Biology*, 217(3):344–350.
- Millot S, Vandewalle P, Parmentier E, et al, 2011. Sound production in red-bellied piranhas (*Pygocentrus nattereri*, *Kner*): an acoustical, behavioural and morphofunctional study[J]. *Journal of Experimental Biology*, 214(21):3613–3618.
- Montgomery J C, Jeffs A, Simpson S D, et al, 2006. Sound as an orientation cue for the pelagic larvae of reef fishes and decapod crustaceans[J]. *Advances in Marine Biology*, 51: 143–196.
- Nedelec S L, Campbell J, Radford A N, et al, 2016. Particle motion: the missing link in underwater acoustic ecology [J]. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(7):836–842.
- Neenan S, Piper R, White P, et al, 2016. Does masking matter? Shipping noise and fish vocalizations[J]. *Advances in Experimental Medicine & Biology*, 875:747.
- Popper A N, Fay R R, 2011. Rethinking sound detection by fishes[J]. *Hearing Research*, 273(1/2):25–36.
- Popper A N, Fay R R, Platt C, et al, 2003. *Sound Detection Mechanisms and Capabilities of Teleost Fishes*[C]//*Sensory Processing in Aquatic Environments*[M]. Collin S P, Marshall N J, Eds, New York: Springer-Verlag.
- Popper A N, Hawkins A D, 2018. The importance of particle motion to fishes and invertebrates[J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 143(1):470–488.
- Popper A N, Smith M E, Cott P A, et al, 2005. Effects of exposure to seismic airgun use on hearing of three fish species [J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117 (6): 3958–3971.
- Radford A N, Lèbre L, Lecaillon G, et al, 2016. Repeated exposure reduces the response to impulsive noise in European seabass[J]. *Global Change Biology*, 22(10):3349–3360.
- Radford C A, Stanley J A, Tindle C T, et al, 2010. Localised coastal habitats have distinct underwater sound signatures [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 401:21–29.
- Radford C A, Stanley J A, Simpson S D, et al, 2011. Juvenile coral reef fish use sound to locate habitats[J]. *Coral Reefs*, 30(2):295–305.
- Reinert R E, 2011. Biological indicators of stress in fish[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 121(2): 274–276.
- Rogers P H, Cox M, 1988. *Underwater sound as a biological stimulus*[M]. New York: Springer.
- Sabet S S, Wesdorp K, Campbell J, et al, 2016. Behavioural responses to sound exposure in captivity by two fish species with different hearing ability[J]. *Animal Behaviour*, 116: 1–11.
- Scholik A R, Yan H Y, 2001. Effects of underwater noise on auditory sensitivity of a cyprinid fish[J]. *Hearing Research*, 152(1/2):17–24.
- Shannon G, McKenna M F, Angeloni L M, et al, 2016. A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife[J]. *Biological Reviews*, 91(4): 982–1005.
- Simpson S D, Meekan M G, Jeffs A, et al, 2008. Settlement-stage coral reef fish prefer the higher-frequency invertebrate-generated audible component of reef noise[J]. *Animal Behaviour*, 75(6):1861–1868.
- Spiga I, Aldred N, Caldwell G S, et al, 2017. Anthropogenic noise compromises the antipredator behaviour of the European seabass, *Dicentrarchus labrax* (L.)[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1/2):297–305.
- Tolimieri N, Jeffs A, Montgomery J C, et al, 2000. Ambient sound as a cue for navigation by the pelagic larvae of reef fishes[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 207:219–224.
- Van Oosterom L, Montgomery J C, Jeffs A G, 2016. Evidence for contact calls in fish: conspecific vocalisations and ambient soundscape influence group cohesion in a nocturnal species[J]. *Scientific Reports*, 6(1):1–8.
- Vasconcelos R O, Amorim M C P, Ladich F, et al, 2007. Ef-

fects of ship noise on the detectability of communication signals in the Lusitanian toadfish[J]. Journal of Experimental Biology, 210(12):2104–2112.

Voellmy I K, Purser J, Flynn D, et al, 2014. Acoustic noise reduces foraging success in two sympatric fish species via different mechanisms[J]. Animal Behaviour, 89:191–198.

Wollerman L, Wiley R H, 2002. Background noise from a natural chorus alters female discrimination of male calls in a neotropical frog[J]. Anim Behaviour, 63:15–22.

(责任编辑 万月华)

Research Status and Prospect of Noise Effect on Fish

ZHAN Hui-fen^{1,2}, LI Xiao-bing³, NIMA Dan-zeng⁴, ZHANG Zhan⁴, DA Wa⁴, WANG Yan⁵,
LIU Zhen-biao^{1,2}, LIU Yuan-yuan^{1,2}, HE Chen-rui^{1,2}, SHI Xiao-tao^{1,2}, LIU Guo-yong^{1,2}

- (1. Hubei International Science and Technology Cooperation Base of Fish Passage,
China Three Gorges University, Yichang 443002, P.R. China;
2. College of Hydraulic and Environment Engineering, China Three Gorges University,
Yichang 443002, P.R. China;
3. China Water Resources Beifang Investigation, Design and Research Co.,Ltd., Tianjin 300222, P.R. China;
4. Tibet Water Conservancy and Hydropower Planning Survey and Design Institute, Lhasa 850000, P.R. China;
5. College of Civil Engineering and Architecture, China Three Gorges University, Yichang 443002, P.R. China)

Abstract : Noise can have a variety of negative effects on the behavior and physiology of fish. Studying the impact of noise on fish is of great significance for the protection of fish resources. In this paper, we summarized the research progress of the noise effect on fish hearing, information masking, physiology and behavior, and discussed the shortcomings of the current research in experimental sound field scene, acoustic particle motion, experimental setting form and experimental period monitoring. In view of the shortcomings of the current research, we put forward some specific suggestions as following: simulating the real sound field scene, detecting the influence of acoustic particle motion on fish, conducting various of noise exposure experiments and periodic monitoring. Our study will provide ideas for further study of the effect of noise on fish.

Key words: noise; fish behavior; fish hearing; information masking; fish physiology; sound wave particle movement