

渤海、黄海、东海几种主要发声鱼类 (石首鱼科)群体声的研究*

齐孟鹗 张思照 宋政修

(中国科学院海洋研究所)

海洋生物声学的研究,在第二次世界大战后已取得了很大进展,并已在军事和生产上得到应用,取得了效果。海洋动物发声是海洋环境噪声的一个组成部分,也是声纳系统的水下背景干扰源,尤其是在近岸海区,往往不可忽视。所以,研究海洋动物发声,除了在海洋生物学的研究中有明显的重要性外,对进一步了解海洋环境噪声的产生原因、变化规律及其物理机理,以及在声纳设计等方面也是十分重要的^[1]。已有报道,人们曾观测到鼓虾、石首鱼类、海胆、贻贝、藤壶、鲸等海洋动物集群发出的声音,往往造成很强的海洋噪声源。这些生物机体噪声通常还具有季节性或周日性的变化。有关海洋生物机体发声的观测和信号分析研究,国外虽有一些报道,但仅限于某些海区^[2-5]。

据不完全统计,我国近岸海区的发声生物在 100 种以上,其中不少种类具有集群大、发声强的特点。石首鱼科鱼类是我国近岸海区主要的海洋发声鱼类,约占我国海洋发声鱼类总数的三分之一,在渤海、黄海、东海和南海均有分布^[1]。其主要发声器官为鳔和邻近的鼓肌,当鼓肌收缩时压迫内脏,使鳔壁共振发出声音。他们在上述某些海区集群发出的声音,有时在海面也能清晰听到。

本文主要对过去多年来我国渤海、黄海、东海近岸海区,某些集群大、发声强、具有代表性的石首科鱼的现场观测资料作了分析和阐述,其中包括集群发声的声学特征,以及随时间、地点的变化。

一、实验分析方法

本文数据是 1965—1970 年春、秋鱼汛季节,在渤海、黄海、东海三个海区的渔场中心区域,水深不超过 60 米的不同站点连续测量记录所取得。每半小时或一小时记录一次,连续记录 15 小时至 40 小时不等,情况特殊时相应增加记录次数。资料分析,仅选用其中声压级大于背景噪声级 10 分贝的记录作为样本。在记录鱼声信号的同时,观测风速、流速、波高等海洋水文要素。受到附近船只噪声、大风浪、大雨噪声干扰的信号记录未被取用。为了可靠起见,对同一样本作了如下四种不同方法的分析处理,并进行了比较。

1. 通过富里叶变换求功率谱密度

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 673 号。

我所一室原声学组同志参加了海上现场观测与记录工作,并对部分资料进行了整理;承毛汉礼副所长鼓励与指导和管秉贤付主任审阅,谨此致谢。

收稿日期: 1980 年 11 月 3 日。

鱼的群体声在有限时间内可以看作是一个平稳的,各态历经的随机过程,鱼的群体声的总体平均特征,可以用一个样本函数按时间平均得到。假定 $x(t)$ 是一个时间区间为 $(0, T)$ 的取样,则功率密度函数 $\tilde{G}(f)$ 近似为:

$$\tilde{G}(f) = \frac{2}{T} \left| \int_0^T x(t) e^{-j2\pi ft} dt \right|^2$$

对上式进行离散化计算时,取离散化的时间间隔 $\Delta t = 50$ 微秒,取点数 $N = 1024$ 点, f 为频率。则,取样时间区间 $T = N\Delta t = 51.2$ 毫秒。这种离散化计算包括了整个鱼声频段。

2. 通过自相关函数求功率谱密度

在 1 中的假定条件下, $x(t)$ 的功率谱密度函数又可表示为:

$$\tilde{G}(f) = 2 \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} R(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau$$

式中, $R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot x(t + \tau) dt$ 为自相关函数。

因此,求 $x(t)$ 的功率谱密度,可归结为求自相关函数。在离散化计算 $R(\tau)$ 时,为了能包括整个鱼声频段,取 $\tau = 25$ 微秒, $N = 512$ 点。

3. 用 KAY 声谱分析仪作三维动态分析

这种分析方法不但能得到能量按频率的分布,而且能给出一定时间内的变化特征,可以对样本作更详细的观察。

4. 用 1/3 倍频程带通滤波器对环形磁带上的样本进行重复滤波,并将所得结果换算为声谱级,绘成谱图。

二、分析结果

图 1 至图 6 为用上述四种方法所得频谱图。图 1 至图 5 中各 A 图为通过自相关函数经富里叶变换求得的功率谱密度图,图上纵轴表示谱密度幅度,横轴表示频率。图 1 至图 5 中各 B 图左半是用 KAY 声谱分析仪作出的频率-能量(幅度)-时间三维动态谱图,图上横轴表示时间,纵轴表示频率(千赫),灰度深浅表示声能量强弱。B 图右半表示三维动态图中某一时刻的截面图,图上纵轴表示频率(千赫),横轴表示声能幅度。图 1 至图 4 各

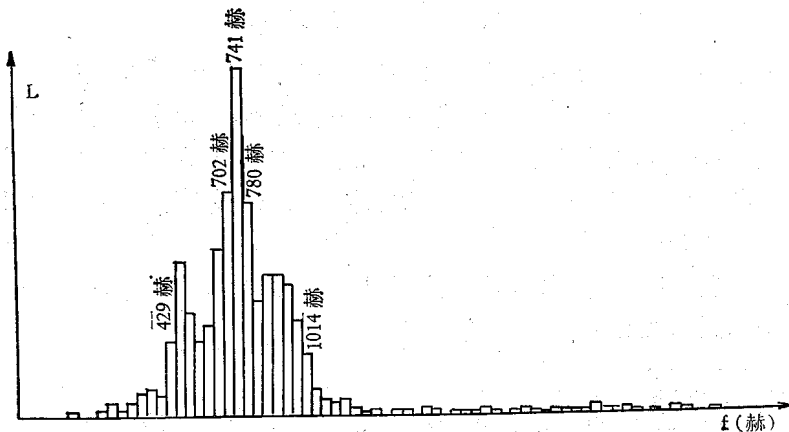


图 1A 大黄鱼群体声功率谱 (L: 幅度)

C图及图6 A, B是通过1/3倍频程滤波器分析求得的平均频率谱密度图,图上纵轴表示声压谱级,单位为分贝(参考级0分贝=20微牛顿/米²),横轴表示频率(赫)。比较图1至图5中A, B, C三种谱图,可看出由这三种不同分析方法求得的谱峰频率范围是一致的。

图1 A, B, C为东海区大黄鱼群体声频谱图,声能量主要集中在630赫—800赫频带范围内,谱峰在750赫附近。图1 B说明大黄鱼的群体声是一种稳态的连续声,从任一时刻截取的时间截面图即幅度-频率图上也可以看出,其声能量集中的频率范围与1/3倍频程滤波器分析得的频带范围是一致的。图1 C中的几条谱特性曲线,是根据1966—1968年间不同年份,不同地点记录的大黄鱼群体声信号数据分析而得。曲线表明大黄鱼在春、秋汛期不同时间、不同地点群体发声的谱特性是一致的,谱峰以及谱峰上升与下降斜率都

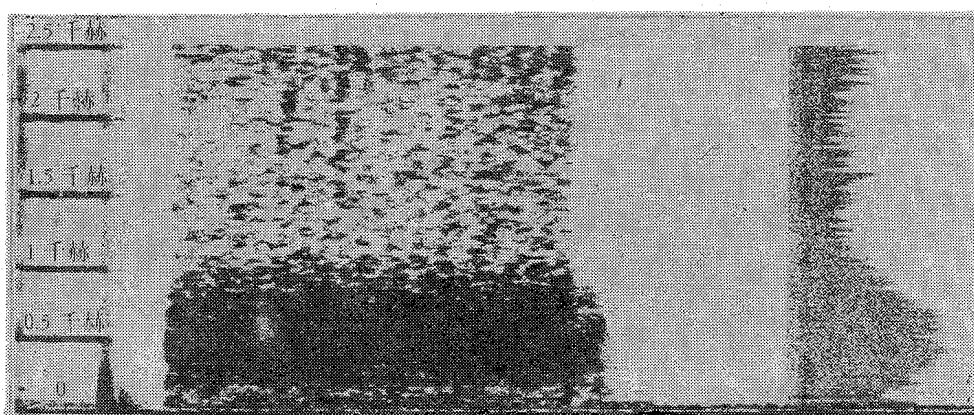


图1B 大黄鱼群体声图

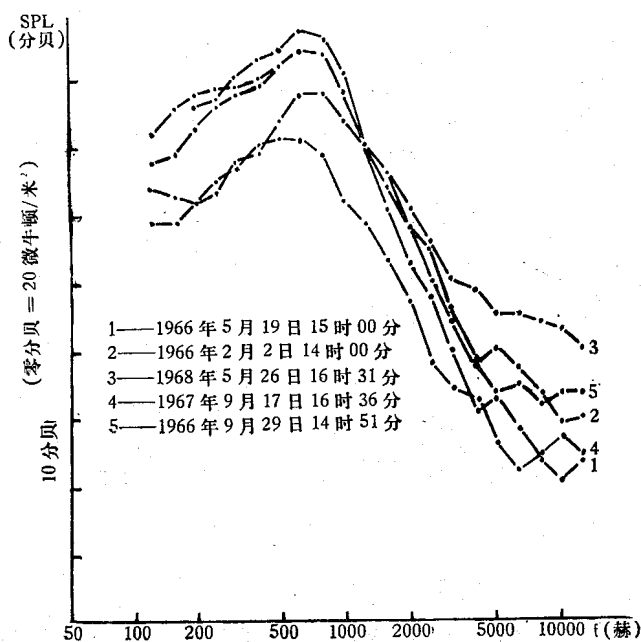


图1C 大黄鱼群体的声谱图

一样,只是声压谱级的量级有所差异,这与鱼群的密集程度和机体发声强度有关。东海大黄鱼群体发声最大声压谱级可达 94—97 分贝,大黄鱼群体发声不但有季节性,而且有明显的周日变化规律。图 1 D 给出了谱峰附近 630 赫和 800 赫二频率声压谱级连续三天的时间变化。该图表明大黄鱼群体声从上午 9 点左右开始,到午后 2 点达到最强,630 赫和 800 赫声压谱级达 94 分贝,总声压级可达 100 分贝左右。群体声可持续到黄昏 6 点左右,夜间和清晨基本上不出现。这种周日变化规律,在几年的观测记录中都很明显。

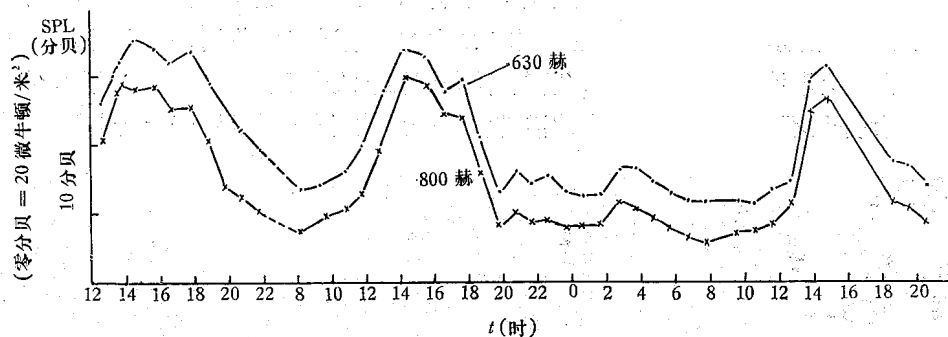


图 1D 大黄鱼谱峰随时间变化图

图 2 A, B, C 为东海区毛鲮鱼群体声频谱图,声能量主要集中在 400 赫与 630 赫频带之间,谱峰在 500 赫附近,最大声压级可达 70 分贝左右。在观测记录过程中,曾发现毛鲮鱼集群时发出节奏性很强的阵声,持续时间约为 2 秒,间隔时间也在 2 秒左右。这种群体阵声现象与我们所观测到的其他石首鱼群体发声有明显的不同。毛鲮鱼群体发声同样具有周日变化特点,由图 2 D 可以看出,群体发声起始于黄昏,持续 3—4 小时至午夜前 3 小时停止。

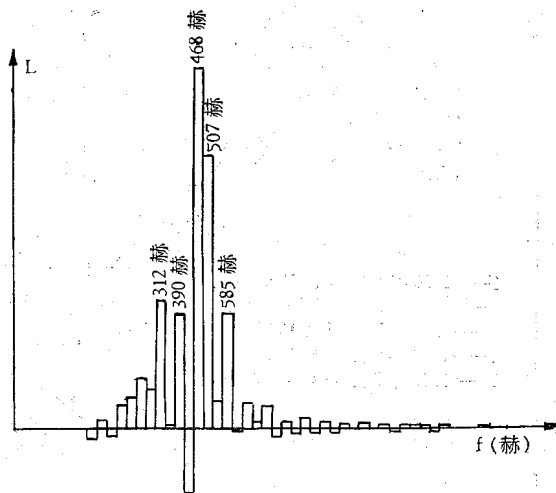


图 2A 毛鲮鱼群体声功率谱

图 3 A, B, C 为东海区鲈鱼群体声频谱图,声能量主要集中在 400 赫—630 赫频带范围内,谱峰在 500 赫附近,其最大声压级可达 55 分贝。图 3 D 为某站点连续记录的鲈鱼群

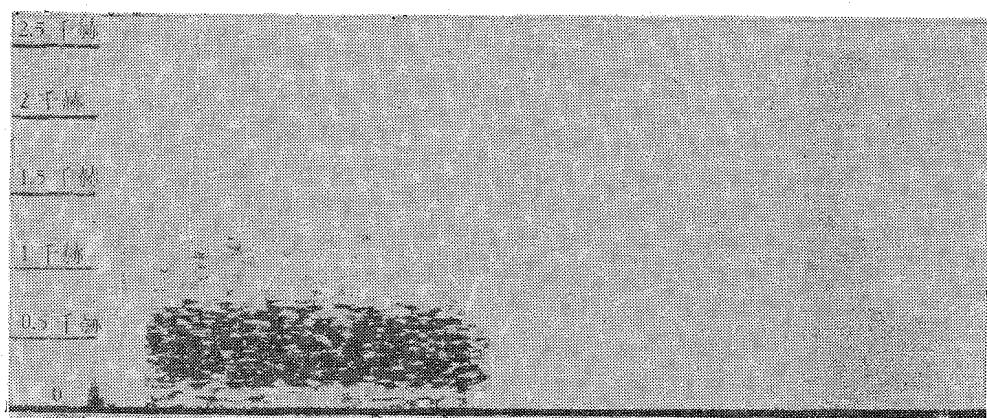


图 2B 毛鲮鱼群体声图

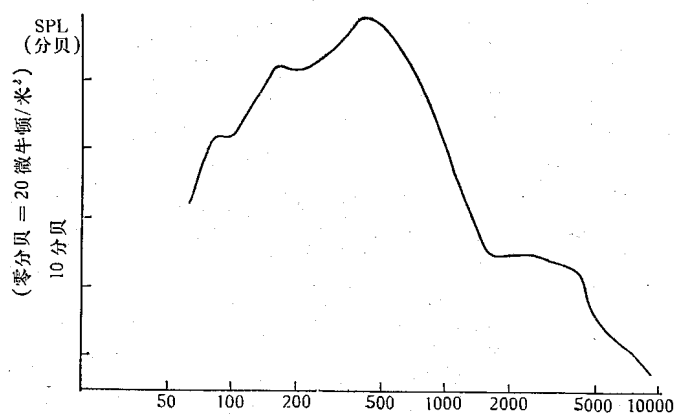


图 2C 毛鲮鱼群体的声谱图

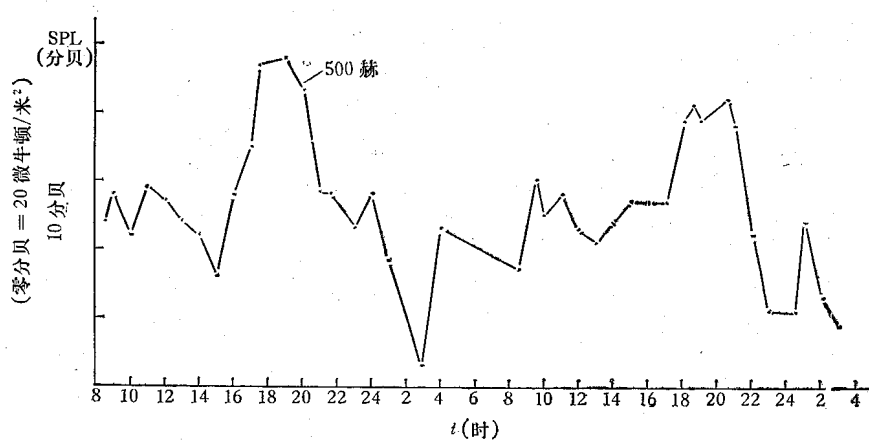


图 2D 东海区毛鲮鱼谱峰随时间变化图

体声谱峰附近声压谱级随时间变化图,明显显示了周日变化,在中午 12 时前后约 2 小时,群体声最强。

图 4 A, B, C 为渤海、黄海区黄姑鱼群体声频谱图,声能量主要集中在 400 赫—630

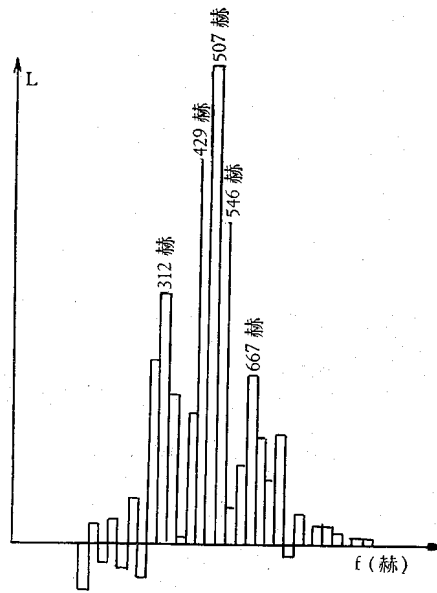


图 3A 鲷鱼群体声功率谱

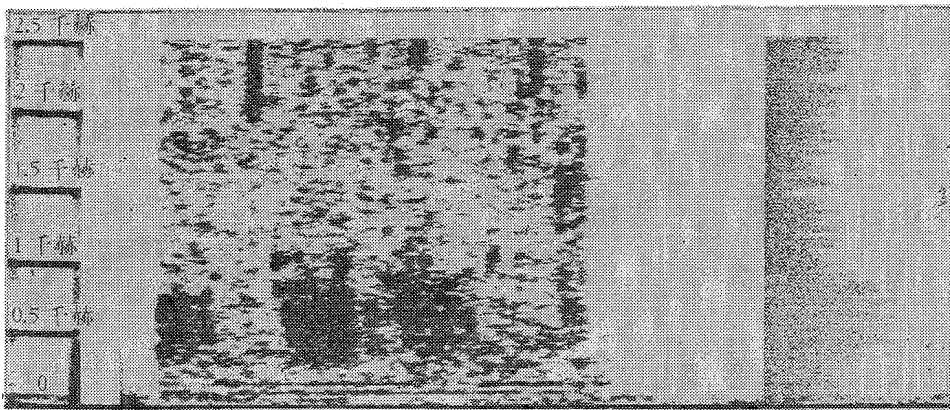


图 3B 鲷鱼群体声图

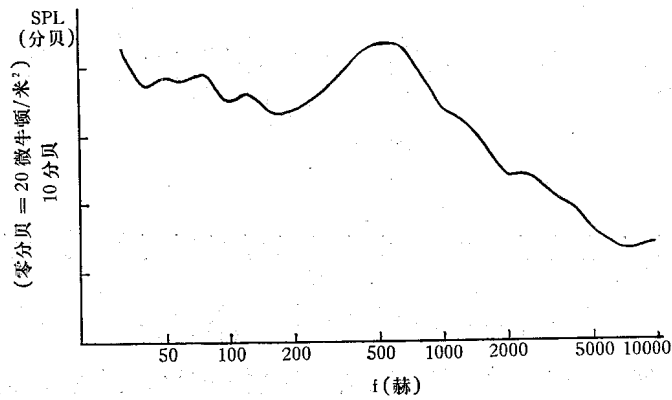


图 3C 鲷鱼群体的声谱图

赫频带范围内，谱峰在 500 赫附近。图 4 C 三条谱特性曲线是根据黄海北部、黄海南部

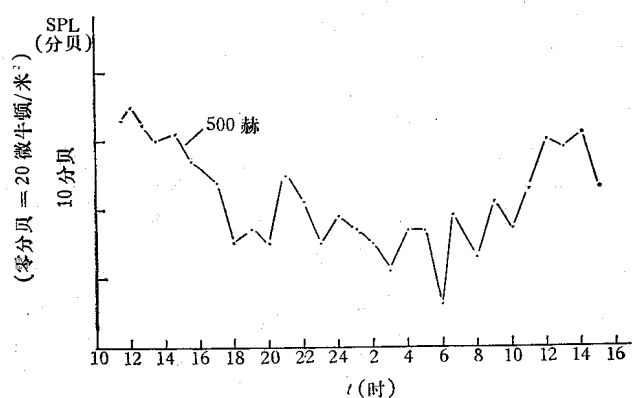


图 3D 东海区鲷鱼谱峰随时间变化图

和渤海三个海区,不同时间的记录而取得的。很明显,这三条谱特性曲线形状完全相似,谱峰上升和下降斜率也很一致。黄姑鱼群体发声同样有周日变化。图 4 D 是在渤海连续记录的黄姑鱼群体声谱峰声压谱级随时间变化图,表明群体声以晚上 8 时左右最强,最大声压谱级可达 85 分贝左右。但从图 4 E 在黄海北部海区记录的情况看,群体声除在

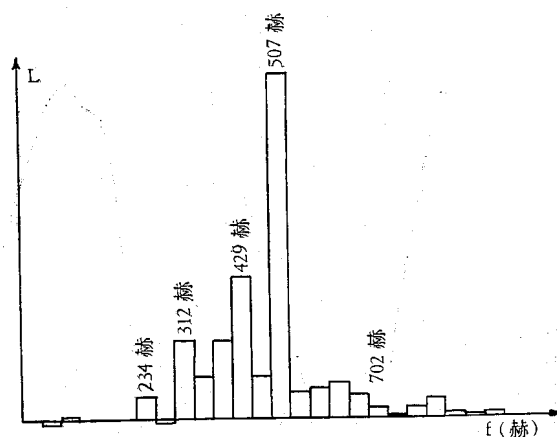


图 4A 黄姑鱼群体声功率谱

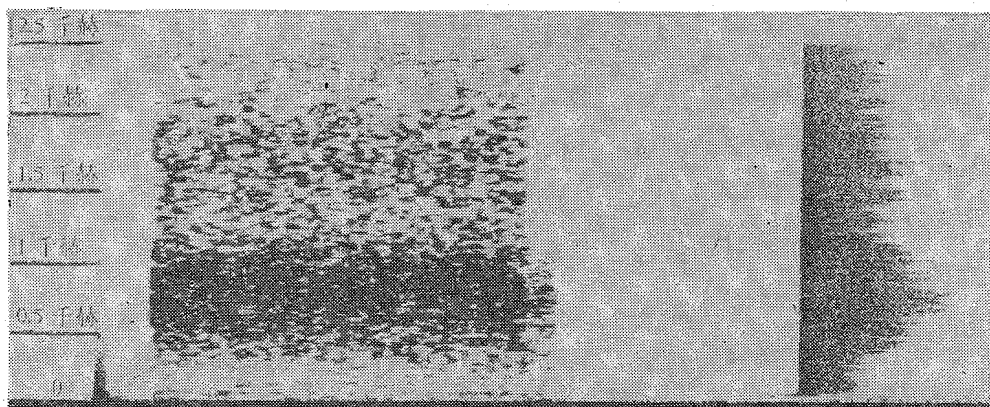


图 4B 黄姑鱼群体声图

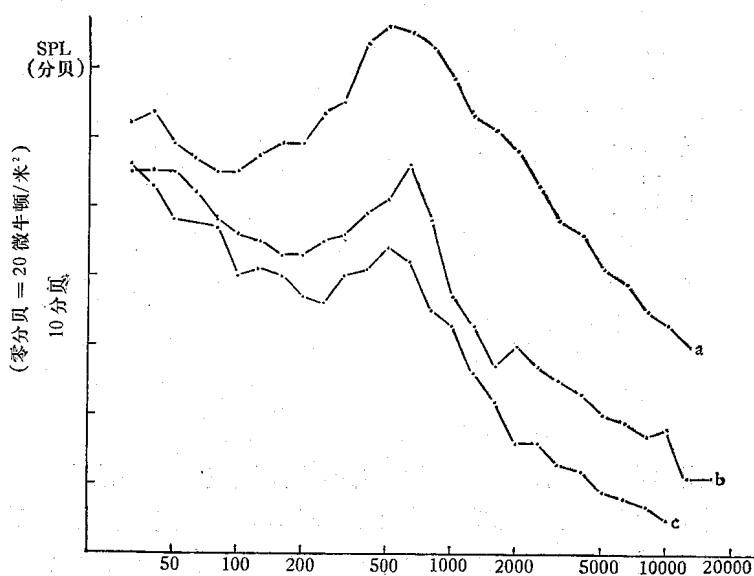


图 4C 黄姑鱼群体的声谱图

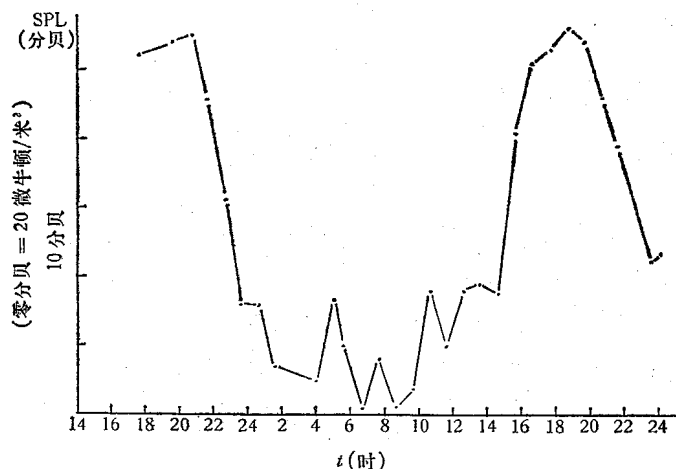


图 4D 渤海区黄姑鱼谱峰随时间变化图

午夜前 3—4 小时出现最大值外,在午夜后 3—4 小时还出现最大值,这说明黄姑鱼群体发声的时间并不完全一致。

图 5 A, B 为渤海、黄海区白姑鱼群体声频谱图,声能量主要集中在 350 赫与 550 赫之间,谱峰在 400 赫附近。

图 6 A, B 为叫姑鱼与黄姑鱼混杂在一起的群体发声的谱图。由图可看出谱特性曲线有两个谱峰,一个在 500 赫附近,另一个在 2000 赫附近,前者为黄姑鱼,后者为叫姑鱼。图 6 A 中叫姑鱼群体发声较强,黄姑鱼群体声较弱;图 6 B 的情况则相反,这与海上现场实测情况完全相符合。

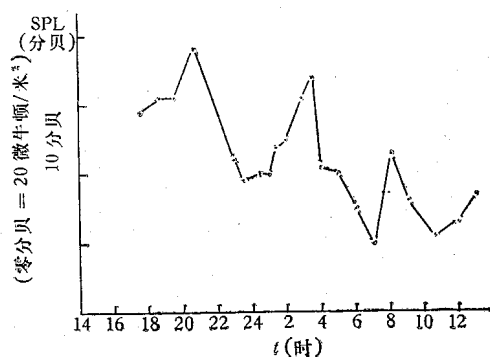


图 4E 黄海北部黄姑鱼谱峰随时间变化图

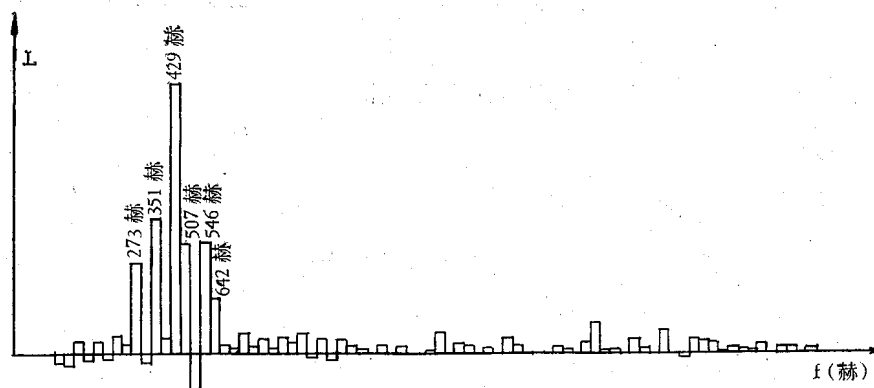


图 5A 白姑鱼群体声功率谱

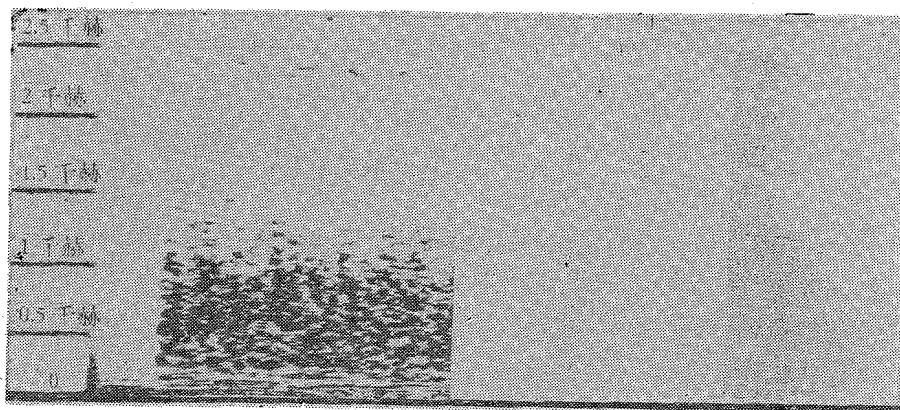


图 5B 白姑鱼群体声图

三、讨 论

大黄鱼、毛鲢鱼、鲢鱼、黄姑鱼、叫姑鱼、白姑鱼等,在我国近岸海区广为分布,大黄鱼、毛鲢鱼主要分布于东海近岸海域及黄海南部;它们在生殖季节群集于近岸海区以及河口区域^[1]。这些石首鱼类有明显的集群回游习性,并能发出强烈的群体声,总声压有的可

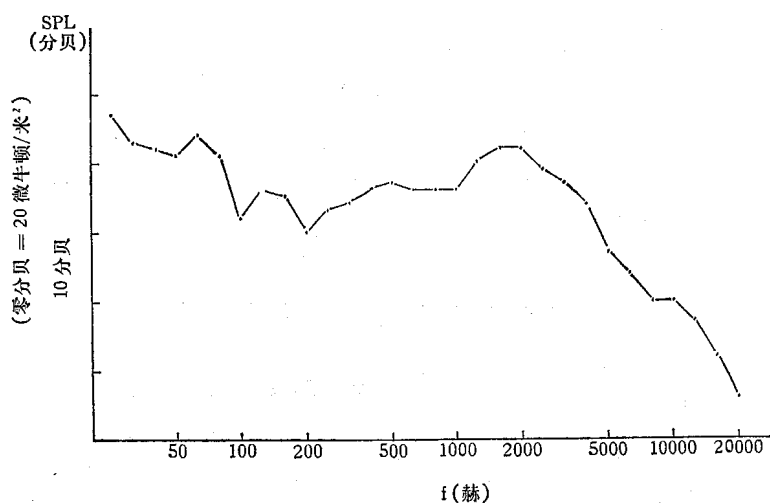


图 6A 叫姑鱼、黄姑鱼群体的声谱图

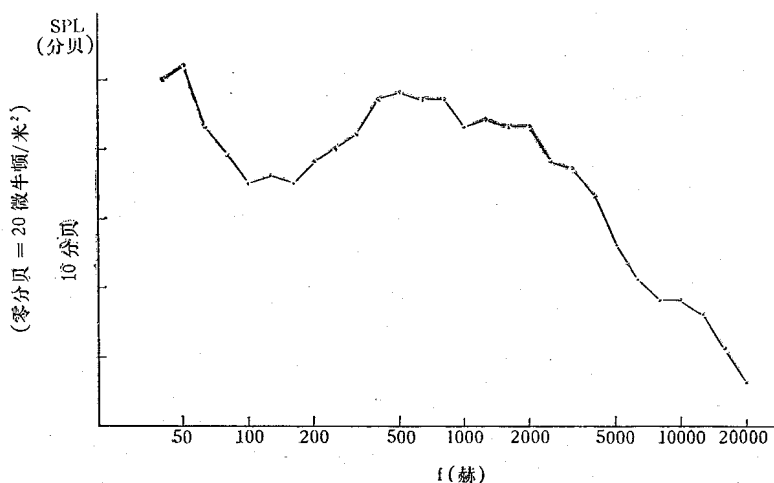


图 6B 叫姑鱼、黄姑鱼群体的声谱图

达 100 分贝,因而成为我国近岸海区主要的海洋生物噪声源。

根据几年不同时间、不同地区现场记录的群体声信号和海流资料进行分析比较,发现前述几种鱼的群体发声强度各有特定的周日变化规律,这种规律因海区不同而不同,但并未发现群体鱼声强弱与流速有密切的相关关系。从图 7 也可看出,流速与群体声的强弱关系不大,流速的大小仅对 100 赫以下的声谱有影响。

值得注意的是,大黄鱼群体起叫声强度能在很短的时间内达到高峰,偶而又会很快停止,随即又很快齐鸣,这种现象迄今尚不明其原因。

石首科鱼类是由鳔的振动而发声的,群体声频率较低,频带较窄,一般在 400 赫—1000 赫范围内,音色也很单调,通常在一个倍频程左右。群体声信号的这些物理特性,可认为是由鱼鳔的大小与几何形状决定的。

鱼类的鳔对声音很敏感,起着接受声信号的作用;鱼类身上的侧线器官,对低频的反

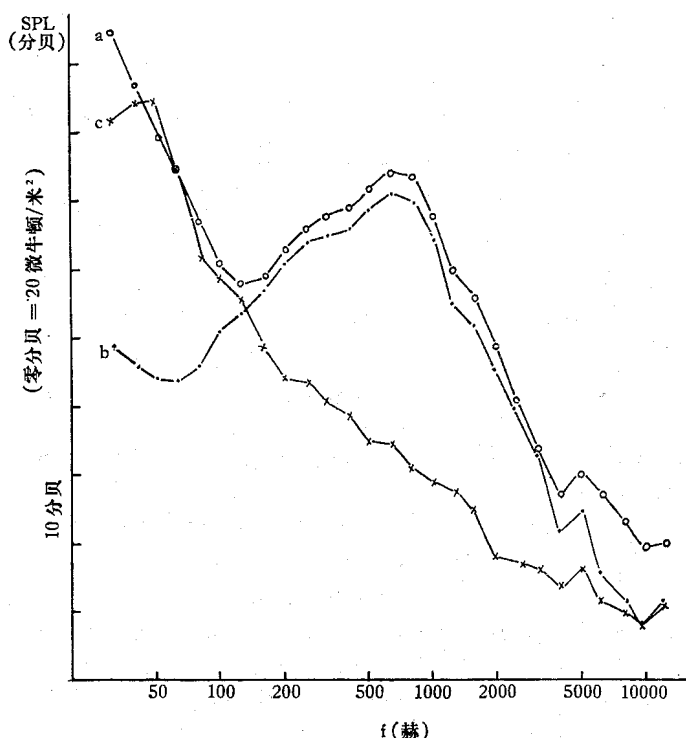


图7 大黄鱼群体发声与流速比较图

a. 14 时 00 分, 鱼声 94 分贝, 流速 115 厘米/秒; b. 11 时 55 分, 鱼声 92 分贝, 流速 39 厘米/秒;
c. 01 时 52 分, 鱼声(无群体声) 50 分贝, 流速 119 厘米/秒

应也十分灵敏。因而, 从石首科鱼类发声频率较低这一点看, 他们的群体发声是否是鱼群之间以声传递信息的一种现象, 很值得进一步深入探讨。

参 考 文 献

- [1] 朱元鼎、罗云林、伍汉霖, 1963年。中国石首鱼分类系统的研究和属新种的叙述。上海科学技术出版社, 18—74页。
- [2] Casle, M. J. and Kibblewhite, A. C., 1975. The contribution of the sea urchin for ambient sea noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 58 S122(A).
- [3] Cato, D. H., 1978. Marine biological choruses observed in tropical waters near Australian. *J. Acoust. Soc. Am.*, 64(3); 736—743.
- [4] Fish, M. P., 1964. Biological sources of sustained ambient sea noise. in “*Marine Bio-Acoustics*” (edited by Tavolga, W. N.). Pergamon, New York, 1964, pp. 175—194.
- [5] Tavolga, W. N. (ed.), 1977. Sound production in fish. (Benchmark papers in “Animal Behavior 9”) Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., pp. 350.
- [6] Wenz, G. M., 1962. Acoustic ambient noise in the ocean spectra and sources. *J. Acoust. Soc. Am.* 34(2); 1936—1956.

STUDIES ON THE AGGREGATE SOUND PRODUCTION OF MOST SPECIES OF CROAKER (SCIAENOID FISHES) IN BOHAI SEA, YELLOW SEA AND EAST CHINA SEA*

Qi Meng'e Zhang Sizhao and Song Zhengxiu

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

In this paper, data collected during 1965—1970 from Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea on the characteristics of sound production of croaker (sciaenoid fishes) with a greater sound-producing mechanism are analyzed and assessed. Spectrum analysis and data-processing were conducted in four different ways for the same sample. The value of basic parameter in sound power spectrum, such as spectral structure, distribution of spectral peak, etc. were obtained accordingly for six different fishes groups. It is indicated that the sound production of each species varied diurnally, and the differences were exhibited in different species and locations. The sounds of the sciaenoid fishes are produced by the vibration of muscles around or attached to the swim bladder. Their acoustic signal is of lower frequency, its frequency bandwidth is narrow, ranging about 400—1000 Hz, and the tones are monotonous about one octave. It was shown by analysis that the sound production of aggregate fishes did not coincide with the common opinion that the greater the velocity of water current, the stronger the intensity of aggregate sound. According to the characteristics and regularities of the sound production, it may be postulated that the sounds are likely to be means of communications of the fishes.

*Contribution No. 673 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.