

基于水声学探测的两个广东鲂产卵群体 繁殖生态的差异性

谭细畅^{1,*}, 李新辉¹, 林建志², 周东华², 高翔², 李嘉敏²

(1. 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 广州 510380; 2. 广东省渔政总队肇庆支队, 肇庆 526000)

摘要: 2006 年 4~5 月利用 Simrad EY60 型分束回声探测仪对珠江西江江段罗旁及青皮塘广东鲂产卵场中的繁殖群体进行水声学探测。在人工标定及渔获物统计的基础上, 对广东鲂的回声信号进行了判别。结果表明: 广东鲂在两个产卵场都有明显的聚群行为, 但在罗旁产卵场的聚群规模明显比青皮塘产卵场的大, 频次更多。两个产卵场中广东鲂的繁殖生态行为存在明显差异, 在青皮塘江段洄游的速度 (均值 0.24 m/s) 也低于罗旁的 (均值 0.61 m/s); 另外, 在两个产卵场广东鲂的数量动态变化上存在差异。产卵场生境的差异性是导致广东鲂繁殖生态行为差异的主要原因, 维护产卵场生境特征对保护广东鲂种群具有重要意义。

关键词: 广东鲂; 产卵群体; 繁殖生态; 水声学探测

文章编号: 1000-0933(2009)04-1756-07 中图分类号: Q178.1 文献标识码: A

Ecological differentiation between two breeding populations of *Megalobrama hoffmanni* in the Pearl River based on hydro-acoustic research

TAN Xi-Chang^{1,*}, LI Xin-Hui¹, LIN Jian-Zhi², ZhOU Dong-Hua², GAO Xiang², LI Jia-Min²

1 Pearl River Fishery Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, China

2 Guangdong Province Fishery Enforcement Corps Zhaoqing Detachment, Zhaoqing 526000, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1756 ~ 1762.

Abstract: Coinciding with fish-spawning season from April to May of 2006, we investigated two spawning grounds of *Megalobrama hoffmanni* in the Pearl River, at Qingpitang and Luopang, in order to understand their hydro-acoustics characteristics. We used a Simrad EY60 split-beam echo-sounder and employed both manual calibration and fishery information in order to recognize the echo signal of *M. hoffmanni*. Our results indicated the existence of a spawning aggregation of *M. hoffmanni* at the two spawning grounds. The aggregation scale in Luopang was higher. There was also a significant difference in the reproductive behavior at the two spawning grounds; the swimming speed of *M. hoffmanni* in Qingpitang was much slower than at Luopang. In light of these results, we postulate that habitat diversity is responsible for *M. hoffmanni*'s reproductive ecological diversity. Therefore it is important to maintain habitat characteristics in order to ensure the protection of this fish species.

Key Words: *Megalobrama hoffmanni*; spawning population; breeding ecology; hydro-acoustic

广东鲂 (*Megalobrama hoffmanni*) 属鲤形目, 鲤科, 鲂属, 味道鲜美, 主要分布于西江及珠江三角洲。广东鲂是半洄游性鱼类, 每年 4~7 月份在西江的青皮塘及罗旁两个江段聚群繁殖。20 世纪 80 年代以来, 广东鲂

基金项目: 国家科技部资助项目 (2005DIB3J023); 广东省自然科学基金资助项目 (5004163)

收稿日期: 2007-12-28; **修订日期:** 2008-11-05

致谢: 广东省肇庆市德庆县渔政大队、封开县渔政大队在野外探测实验中给予了大力支持, 在此一并致谢。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jimtxc@hotmail.com

资源持续衰退,封开江段广东鲂捕捞产量由历史上的 19 t,下降到 5 t 左右^[1]。在西江鱼类资源明显衰退的趋势下,广东鲂的渔业经济价值日益突出,据 2006~2007 年调查统计,广东鲂为西江江段渔获物中绝对优势种类,4~5 月份期间约占总捕捞产量的 47.2%^[2]。为保护与恢复广东鲂资源,当地渔政部门自 1992 年开始对广东鲂产卵场实行禁渔保护,禁渔期为每年 4 月 8~25 日(1997 年之后调整为每年 4~5 月份)。但目前对广东鲂繁殖状况,如产卵时间、规模及行为等缺少相关研究,在产卵场的生态保护上基础性数据不足,有必要对两个产卵场中广东鲂的繁殖生态做进一步的研究。

2006 年 4 月 19 至 5 月 4 日使用 simrad 公司 EY60 型分束回声探测仪,在人工标定及渔获物统计的基础上,作者分别在两个广东鲂产卵场进行定点探测,分析广东鲂繁殖状况及习性,以期在广东鲂资源评估和产卵场生态保护提供数据资料。

1 材料与方法

1.1 广东鲂产卵场概况

两个广东鲂产卵场在西江江段的位置如图 1 所示。罗旁产卵场位于广东省肇庆市德庆县江段,23°11'11"~23°11'58"N,111°34'36"~111°36'34"E,全长 3611m,横断面宽约 1400m;青皮塘产卵场位于广东省肇庆市封开县江段,23°19'33"~23°22'12"N,111°31'18"~111°30'12"E,全长约 4422 m,平均江面宽度 1250 m。两个产卵场相距约 22km,江面左边都有长约 3000 m,宽约 500 m 的冲积沙岛,;右侧离岸 50~100 m 的范围皆分布有暗礁。



图 1 两个广东鲂产卵场在珠江水系西江江段的位置

Fig. 1 Two spawning grounds of *Megalobrama hoffmanni* in the Pearl River

1.2 设备及软件

回声探测仪:Simrad 公司的 EY60 型分束(split-beam)回声探测仪;换能器频率为 200KHz, -20 dB 探测张角 7°,采样间隔 64 μs,分辨精度 0.012 m。探测前仪器使用标准铜球进行校对。数据采集及分析采用配套软件 ER60 及 Sonar5。流速仪:重庆水文仪器厂生产的 DJS 打印式流速仪;Sonar5 软件的重要功能之一是可以对鱼体的运动轨迹进行跟踪,并提取相关的 114 个参数,如目标强度、运动速度、相差等。

1.3 产卵场江段渔获物统计

经当地渔政部门批准,2006 年 4 月 19 日至 5 月 4 日期间安排渔船分别在青皮塘和罗旁进行捕捞取样。统计记录渔获物中鱼类种类组成及体长、体重等相关数据。网具为 3 层流刺网,网长约 300m,网高约 2m,内网网目为 7.6 cm。

1.4 广东鲂产卵场水声学探测

2006 年 4 月 19 至 5 月 4 日期间先后对罗旁和青皮塘两广东鲂产卵场进行水声学探测(表 1)。对广东鲂

繁殖群体的探测采取定点探测的方式,地点选择在产卵场的中间位置,离岸距离约 15 m,水深分别为 8 m(罗旁)、6 m(青皮塘),换能器置于水面下 0.5 m,以 30°向下倾斜,探测距离分别为 9、14 m。

分别在两个产卵场设定上、中、下 3 点测定表层水流速度。记录公布的水文状况。

表 1 两个广东鲂产卵场水声学探测时间

Table 1 Dates and times of hydro-acoustic survey in two spawning grounds of *M. hoffmanni*

日期 Date	地点 Site	起始时间 Period	持续时间 (min) Duration	水位 * (m) Water level
2006-04-19	罗旁 Luopang	3:12 ~ 7:36	264	4.33
2006-04-22	青皮塘 Qingpitang	21:00 ~ 23:30	150	4.22
2006-04-27	青皮塘 Qingpitang	21:00 ~ 23:30	150	5.13
2006-04-28	青皮塘 Qingpitang	21:00 ~ 23:30	150	6.17
2006-04-30	青皮塘 Qingpitang	21:00 ~ 23:30	150	6.75
2006-05-01	青皮塘 Qingpitang	4:00 ~ 7:00	180	6.32
2006-05-04	青皮塘 Qingpitang	4:00 ~ 7:00	180	6.08

* 数据来自梧州水文站资料 hydrologic data originated from Wuzhou hydrometric station

1.5 广东鲂繁殖个体目标强度人工标定

实地测定广东鲂繁殖个体的目标强度(target strength)。广东鲂体长分别为 34、30 cm;鱼体用单丝尼龙绳固定,测定距离 3 ~ 4 m,换能器水面下 0.5 m 水平放置。

1.6 数据处理及相关公式

分析渔获物统计资料及人工标定实验的结果,结合探测时实际情况,对广东鲂繁殖个体信号进行判别,利用 sonar 软件分析信号的目标强度和运动速度,并对探测到的广东鲂繁殖个体进行统计。以连续探测 8min 为单位,计算定点探测时相对数量 N :

$$N = n / (t \times S)$$

式中, N 为定点探测时单位声学截面每分钟广东鲂数量(ind/(m²·min)), n 为单位时间探测到的个体数(ind), t 为单位时间(min), S 为探测截面面积(m²),与探测张角、水深有关。

2 结果

2.1 产卵场江段渔获物组成

在罗旁及青皮塘两个产卵场分别统计了 8、12 个船次的渔获物,共捕获鱼类 448 尾,其中广东鲂有 359 尾,经解剖检查,皆已到达成熟期。两个产卵场中渔获物的优势种均为广东鲂,其在两个产卵场渔获物组成中的数量比例分别为 87%、78.3%,重量比分别为 92.5%、87.2%。其它捕捞种类为黄尾鲴(*Xenocypris davidi*)、鲮鱼(*Cirrhina molitorella*)、赤眼鳟(*Squaliobarbus curriculus*)、花鲮(*Clupanodon thrissa*)。两个产卵场渔获物种类的体长、体重分布见表 2。

2.2 广东鲂人工标定及回声信号判别

人工标定广东鲂目标强度的范围为 -25 dB 至 -57.5 dB。其中体长 34 cm 广东鲂的目标强度均值为 -35.3 dB,变化范围 -25.5 dB 至 -49.2 dB;体长 30 cm 广东鲂目标强度均值为 -35.8 dB,变化范围 -25 dB 至 -57.5 dB。

本文将目标强度最强,信号值在人工标定广东鲂的范围内,且其轨迹图像符合聚集逗留生态学特性的一类信号判断为广东鲂繁殖个体。

2.3 广东鲂在罗旁产卵场中繁殖生态行为

广东鲂在罗旁产卵场有明显的繁殖聚群行为,其形态表现为一个个密集的小群体(图 2 中 A)。小群体数量在 6 ~ 17 ind 之间,以垂直于水底纵向分布,其个体间有明显的嬉戏追逐行为,轨迹图像交汇。该江段广东鲂的回声信号很强、信号轨迹明显,其目标强度范围为 -51.2 dB 至 -25.6 dB,均值为 -38.1 dB,运动速度范

围为 0.32 ~ 1.45 m/s,均值为 0.61 m/s。

表 2 两个广东鲂产卵场中渔获物主要种类及规格

Table 2 Range of body length and weight of fish in catches of gill net

地点 Site	种类* Species	体长范围(均值)mm Range of body length (average)	体重范围(均值)g Range of weight (average)	重量比例(%) Weight ratio	数量比例(%) Ratio
罗旁 Luopang	广东鲂	210 ~ 400(277)	187 ~ 1590(463)	87.2	78.5
	赤眼鳟	162 ~ 350(237)	61 ~ 928(369)	1.1	1.3
	黄尾鲮	180 ~ 310(251)	98 ~ 635(339)	8.1	9.9
	鲮	105 ~ 330(169)	38 ~ 906(147)	3.6	10.3
青皮塘 Qingpitang	广东鲂	230 ~ 400(280)	239 ~ 1655(492)	92.5	84.4
	赤眼鳟	220 ~ 290(255)	177 ~ 590(341)	1.5	2.2
	黄尾鲮	148 ~ 247(209)	57 ~ 325(202)	5.0	11.9
	花鲮	134 ~ 150(142)	300 ~ 330(315)	1	1.5

* 广东鲂 *Megalobrama hoffmanni* 黄尾鲮 *Xenocypris davidi* 鲮鱼 *Cirrhina molitorella* 赤眼鳟 *Squaliobarbus curriculus* 花鲮 *Clupanodon thrissa*

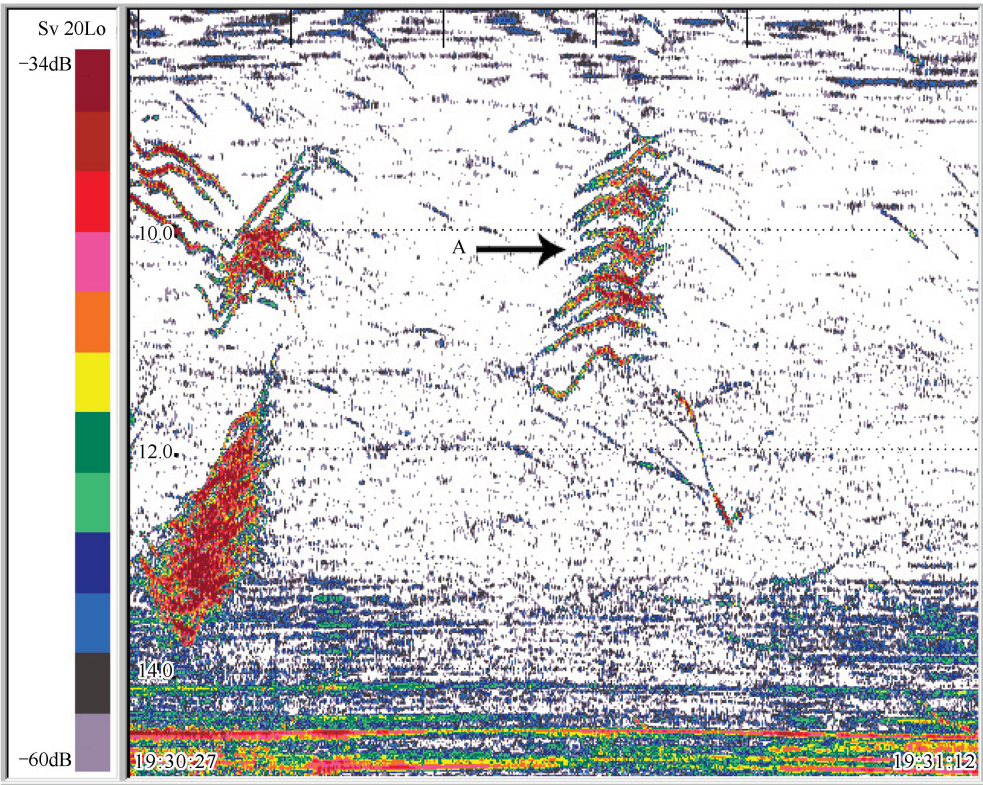


图 2 罗旁产卵场定点探测得到的广东鲂回声图像

Fig. 2 Echogram of spawning stocks of *M. hoffmanni* at Luopang

4 月 20 日 3:12 ~ 7:36,广东鲂在罗旁产卵场发生了一次产卵聚群活动(图 3)。广东鲂在 3:36 左右高度聚集,相对数量最高为 2ind/(m²·min),0.5h 后其密度有所下降,在 5:30 左右密度又有所上升;黎明前广东鲂数量急剧下降,大部分繁殖个体离开罗旁产卵场。

2.4 广东鲂在青皮塘产卵场中繁殖生态行为

在青皮塘产卵场也可观测到广东鲂的繁殖聚群,其小群体数量在 5 ~ 9 ind 之间,个体间较为分散,也可以观察到其嬉戏行为(图 4 中 B)。广东鲂繁殖个体在青皮塘产卵场的回声信号很强,信号轨迹很长,其目标强

度范围为 -33.8 dB 至 -52.3 dB, 均值为 -42.2 dB, 运动速度范围为 $0.02 \sim 0.65$ m/s, 均值为 0.24 m/s。

4 月 22 日至 5 月 4 日期间, 广东鲂繁殖群体在青皮塘产卵场仅进行一次聚群产卵活动。广东鲂在青皮塘产卵前的聚群过程约为 4d。

4 月 22 日到 30 日, 青皮塘产卵场中广东鲂繁殖个体密度呈上升的趋势(图 6)。22 日及 27 日, 青皮塘产卵场中广东鲂数量仍徘徊在较低的水平, 没有观察到明显的群体聚集, 相对数量均值分别为 0.094 、 0.079 ind/($\text{m}^2 \cdot \text{min}$), 而 28 日、30 日广东鲂开始聚集, 相对数量均值分别为 0.24 及 0.58 ind/($\text{m}^2 \cdot \text{min}$)。

5 月 1 日, 广东鲂在青皮塘产卵场有一次聚群活动。拂晓前 4:30 左右广东鲂聚集达到了最高水平, 相对数量的最高为 1.59 ind/($\text{m}^2 \cdot \text{min}$), 高度聚集约持续了一个半小时(图 7)。之后广东鲂开始分散, 相对数量急剧下降, 最小值达 0.16 ind/($\text{m}^2 \cdot \text{min}$)。5 月 4 日, 广东鲂繁殖群体基本上已离开青皮塘产卵场, 相对数量最高为 0.026 ind/($\text{m}^2 \cdot \text{min}$), 比 4 月 22 日的还低许多(图 7)。

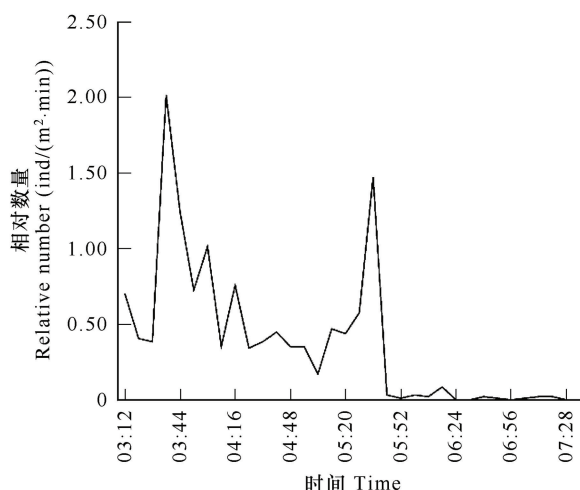


图 3 广东鲂在罗旁产卵场的相对数量变化(4 月 19 日 3:12~7:36)

Fig. 3 Change of the relative number of *M. hoffmanni* at 3:12~7:36 April 19 at Luopang spawning ground

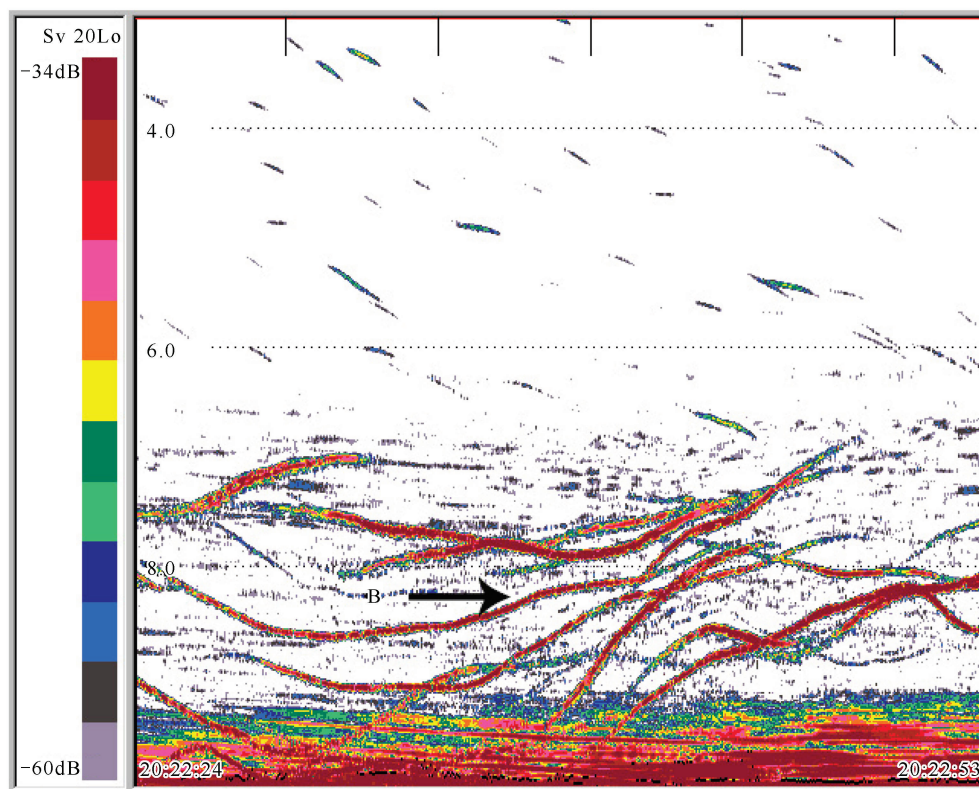


图 4 青皮塘产卵场定点探测得到的广东鲂回声图像

Fig. 4 Echogram of spawning stocks of *M. hoffmanni* at Qingpitang spawning ground

2.5 两个广东鲂产卵场的生境特征

罗旁广东鲂产卵场最大水深为 12.1 m, 平均水深 7.9 m, 表层流速均值为 0.83 m/s, 江底凹凸不平, 有一定的起伏, 河道较为弯曲。观察到罗旁产卵场江段右岸, 暗礁较多, 旋涡多, 水流比较紊乱, 泡沫水翻滚。

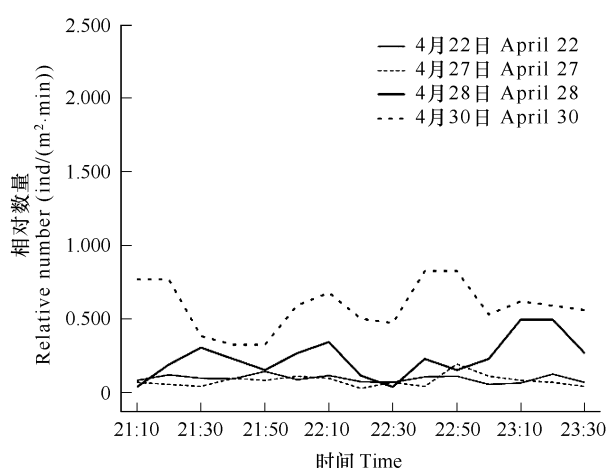


图6 青皮塘产卵场广东鲂相对数量变化(4月22~30日)

Fig. 6 Change of relative number of *M. hoffmanni* at Qingpitang spawning ground (04-22 ~ 04-30)

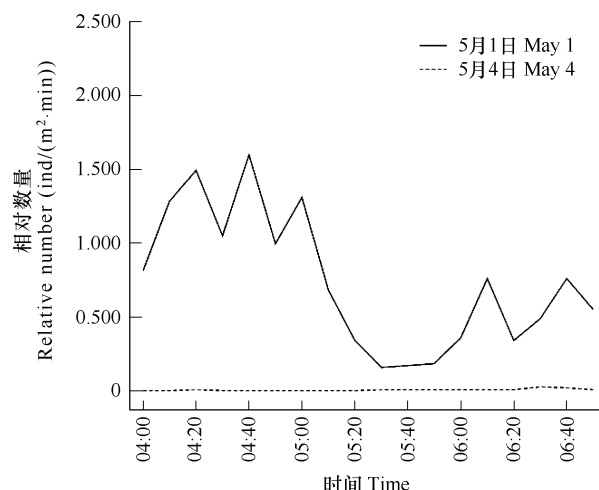


图7 青皮塘产卵场广东鲂相对数量变化(5月1~4日)

Fig. 7 Change of relative number of *M. hoffmanni* at Qingpitang spawning ground (05-01 ~ 05-04)

青皮塘广东鲂产卵场最大水深为9.3m,平均水深6.45m,表层流速均值为0.65 m/s,江底较为平缓,有许多小型沙丘状凸起,河道较直。观察该江段礁石较少,旋涡少,水势较为平缓。

3 讨论

3.1 广东鲂聚群群体的有效监测

广东鲂的聚群习性为其水声学探测的信号判别提供了切实保证。尽管对广东鲂的人工标定只能提供目标强度值(TS)的大致范围,但一定程度上可以为其信号分析时提供参考。诚然,进行水声学探测时目标信号的种类判断上依赖于实验者的经验及对野外情况的了解,但本文对广东鲂的信号判别上有两方面的优势:一方面,同时进行的渔获物调查表明存在的确实为广东鲂鱼群,没有其它鱼类的聚群,另一方面,显著的声学图像特征也符合广东鲂在产卵场聚群的生态习性。4月19日晚上,作者在罗旁产卵场可以不时听到广东鲂跃出水面后入水时“啪”“啪”的声音,这种生态习性是该江段其它鱼类所没有的。

广东鲂在两个产卵场(尤其是在罗旁)的聚群习性及其规模在国内内陆水体中颇为独特^[3,4]。这种生态行为在国外一些江河的同类研究中也少有报道^[5,6],但在海洋中有些种类的聚群则较为明显,如 Jihnston 等^[7]认为细斑石斑鱼(*Epinephelus guttatus*)在波多黎各(Puerto Rico)海岸线独特的聚群习性为水声学的种类判别生态习性上的依据。

同时,本文通过定点探测对广东鲂繁殖群体进行研究是一个有效地尝试。广东鲂聚群的时间短、流动性大,航行探测不容易捕捉到其高密度聚群的状况,而在单个广东鲂信号识别上甚为困难。相较之下定点探测容易操作,船只保持停泊状态,晚上也可一直进行,采集的数据量大;另一方面,对鱼群无任何干扰,更容易观测广东鲂的聚群习性,鱼体信号轨迹鲜明、直观,便于识别。采用定点水平探测的方法,选择最理想的地点是很重要的,这需要探测前对产卵场情况有很好的了解。

3.2 广东鲂在两个产卵场的繁殖生态差异分析

罗旁产卵场的广东鲂聚群规模明显比青皮塘产卵场的大,频次更多;广东鲂在两个产卵场的繁殖行为差异性也尤为明显。罗旁产卵场中广东鲂聚群的形态为小群体,更为密集(相对密度在6~17 ind/(m²·min)),游动速度较快(均值0.61 m/s),嬉戏追逐行为更明显;青皮塘产卵场没有形成小群体(相对密度在5~9 ind/(m²·min)),游动速度甚慢(均值0.24 m/s);青皮塘产卵场广东鲂聚群的规模也比罗旁产卵场的小,4月22日至5月4日,明显的聚群仅有一次,而在此期间,罗旁产卵场的渔政人员又观测到6次广东鲂聚群活动。另外,与罗旁产卵场相比,青皮塘产卵场广东鲂的空间分布上更为靠近水底,中表层分布较少。

广东鲂在两个产卵场的数量动态变化上存在差异。4月19日广东鲂在罗旁产卵场聚集后在日出前迅速离开(图3),受光线因素影响明显,而在4月30日在青皮塘产卵场这种现象不明显,其差异性原因有待进一步探究。

从1982~1983年在两个产卵场渔获捕捞的资料来看,青皮塘产卵场广东鲂单日渔产量比罗旁产卵场的大,青皮塘为最主要的广东鲂产卵场^[8]。而从本次水声学探测结果看,目前罗旁产卵场为最主要的产卵场。据了解,2002年青皮塘产卵场在西江航道整治工程中有1.5万m²的礁石区域被清除^[9]。目前罗旁产卵场右岸礁石分布比青皮塘产卵场的多,江水流态更为复杂。推测认为,两个产卵场广东鲂的繁殖生态差异性原因是其生境上的差异,群体规模上的变化也可能是生境发生改变导致。因此在下一步的工作中有必要对两个产卵场的流场、流态进行研究,以揭示其生境特征本质上的差异。

3.3 广东鲂产卵场的保护建议

维护产卵场生境特征是保护广东鲂的核心环节。罗旁及青皮塘广东鲂产卵场生境特征为:有一定面积大小的沙洲,形成平缓的浅水沙滩;江段分布有礁石,江底起伏不平,流态紊乱,水文条件复杂。由于广东鲂的卵有很强的粘性,需要有石头、粗砂底质,便于附着,又不易被淤泥掩埋。

为保护广东鲂产卵场生境特征,河道工程整治时应该尽可能保留部分礁石区。复杂的流场、流态被认为对一些鱼类的繁殖有重要作用。葛洲坝截流前,中华鲟的产卵场主要分布在金沙江下游和长江上游,其产卵场的生境被描述为“上有深水急滩,下为宽阔石或卵石坝浅滩,中有深洼洄水沱,底质必须具备岩石或卵石”^[10];付小莉等^[11]通过对葛洲坝坝下中华鲟产卵场河段的流场进行计算,认为旋涡流场十分有利于鲟卵的沉降,中华鲟喜欢在表面流速大而河床底部流速小的岩石壅积处产卵。广东鲂两个产卵场有礁石分布,产生较强烈的旋涡,水流紊乱,使广东鲂的精子 and 卵子得到充分的混合和散播,同时也促使受精卵在产卵场粗砂底质上的附着,有较高的孵出率。

References:

- [1] Liao G Z. Propagation protection of *Megalobrama hoffmanni* in the Pearl River. Guangdong Science & Technology, 1997, 6: 23—24.
- [2] Li Y F, Li X H, Tan X C, et al. Studies on present situation and change trend of zhaoping section fishery resources in Xijiang River. Reservoir Fisheries, 2008, 28(2): 80—83.
- [3] Tan X C, Xia L Q, Tatsukawa K, et al. Hydroacoustic surveys on temporal and spatial distributions of stocked carps in the East Lake. Acta Hydrobiologica Sinica, 2002, 26(6): 585—590.
- [4] Zhang H J, Yang D G, Wei Q W, et al. Hydro-acoustic survey on fishes in the reach from Gezhouba dam to Gulaobei of the Yangtze River. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007, 16(1): 86—91.
- [5] Juha L, et al. Upstream migration activity of cyprinids and percids in a channel, monitored by a horizontal split-beam echosounder. Aquatic Living Resources, 2003, 16: 185—190.
- [6] Debby L B, et al. Time-based signal characteristics as predictors of fish size and species for a side-looking hydroacoustic application in a river, Journal of Marine Science, 2003, 60(3): 662—668.
- [7] Neilson J D, et al. Seasonal aggregations of Canadian east coast pollock as inferred from the commercial fishery and hydroacoustic observations, Journal of Fish Biology, 2002, 61, 1067—1084.
- [8] Feng Q X, Wang J C, You B Z, et al. Survey on the spawning ground of *Megalobrama hoffmanni*. Freshwater Fisheries, 1986, 6: 1—5.
- [9] Cao J M. Construction method of reef blasting engineering of contract section C1 in downstream waterway regulation engineering of Xijiang River. Port & Waterway Engineering, 2005, 7(378): 74—79.
- [10] The Changjiang aquatic resources survey group, Sichuan Province. The biology of the sturgeons in Changjiang and their artificial production. Chengdu: Sichuan Scientific and Technical Publishing House, 1988. 284.
- [11] Fu X L, Li D M, Chen Y B. Flow field calculation and analysis of *Acipenser sinensis* spawning sites in the Gezhouba downstream. Advances in Water Science, 2006, 17(5): 700—704.

参考文献:

- [1] 廖国璋. 珠江广东鲂的繁殖保护. 广东科技, 1997, 6: 23—24.
- [2] 李跃飞, 李新辉, 谭细畅, 等. 西江肇庆江段渔业资源现状及其变化. 水利渔业, 2008, 28(2): 80—83.
- [3] 谭细畅, 夏立启, 立川贤一, 等. 东湖放养鱼类时空分布的水声学调查. 水生生物学报, 2002, 26(6): 585—590.
- [4] 张慧杰, 杨德国, 危起伟, 等. 葛洲坝至古老背江段鱼类的水声学调查. 长江流域资源与环境, 2007, 16(1): 86—91.
- [5] 冯启新, 王金潮, 尤炳赞, 等. 广东鲂产卵场调查报告. 淡水渔业, 1986, 6: 1—5.
- [6] 曹竞梅. 西江下游航道整治 C1 合同段蟠龙石炸礁工程施工方法. 水运工程, 2005, 7(378): 74—79.
- [7] 四川省长江水产资源调查组. 长江鲟鱼类生物学及人工繁殖研究. 成都: 四川科学出版社, 1988.
- [8] 付小莉, 李大美, 陈永柏. 葛洲坝下游中华鲟产卵河段的流场计算与分析. 水科学进展, 2006, 17(5): 700—704.