

超声波遥测在中华绒螯蟹产卵场研究中的应用

耿智 冯广朋 赵峰 张涛 杨刚 庄平*

(中国水产科学研究院东海水产研究所, 长江口渔业生态重点实验室, 上海 200090)

摘要 利用一种超声波标志的体外固定方法, 采用超声波遥测法, 分析了抱卵中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 在产卵场附近水域的水平 and 垂直活动规律。结果表明: 超声波标志的体外固定对中华绒螯蟹死亡率无显著影响 ($P < 0.05$); 移动追踪系统对超声波标志的最大追踪距离为 532 ± 16 m; 2014 年 12 月共放流 14 只超声波标志的抱卵中华绒螯蟹, 12 月下旬至翌年 5 月上旬 10 次追踪分别追踪到 10、12、13、9、9、9、9、6、4、2 只标志蟹; 标志蟹主要分布在深水航道的南北两侧的堤坝附近水域, 1 月标志蟹出现在中游区域的频次显著大于下游区域 ($P < 0.05$), 随后呈逐步东移的趋势, 4 月出现在下游区域的频次显著大于中游区域 ($P < 0.05$); 标志蟹的栖息水深在不同时间之间差异极显著 ($P < 0.01$), 1 月上旬至 2 月上旬标志蟹逐步由水深 8.25 ± 3.35 m 的水域移至水深 11.10 ± 2.64 m 的水域栖息, 2 月下旬至 4 月上旬标志蟹偏好水深 6.35 m 左右的水域, 4 月下旬标志蟹的栖息水深为 9.89 ± 2.59 m。本文成果将为水生动物的生态习性、栖息地定位等研究提供技术支持。

关键词 中华绒螯蟹; 超声波遥测; 体外固定法; 长江口; 产卵场

The application of ultrasonic telemetry in the study of spawning ground of *Eriocheir sinensis*. GENG Zhi, FENG Guang-peng, ZHAO Feng, ZHANG Tao, YANG Gang, ZHUANG Ping* (Key Laboratory of Fisheries Ecology of the Yangtze Estuary, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China).

Abstract: Based on an external fixation method of the ultrasonic transmitter, we investigated the horizontal and vertical activities of gravid *Eriocheir sinensis* by the ultrasonic telemetry. There was no significant effects of external fixation of ultrasonic transmitters on the death rates of mitten crabs ($P < 0.05$). A total of 14 tagged mitten crabs being gravid were released in December 2014, and 10, 12, 13, 9, 9, 9, 9, 6, 4, and 2 tagged crabs were tracked from late December 2014 to early May 2015, respectively. The tagged crabs were mainly distributed near north and south dams of the deepwater channel, with a trend of moving eastward. The presence frequency of tagged crabs in the midstream of the deepwater channel was greater than that in the downstream in January ($P < 0.05$) and was greater in the downstream than in the midstream in April ($P < 0.05$). There was significant difference between habitat depth in different months ($P < 0.01$). The tagged crabs migrated from habitats with depth 8.25 ± 3.35 m to that with depth 11.10 ± 2.64 m from early January to early February, mainly inhabited in the area with depth 6.35 m from late February to early April, and inhabited in waters with depth 9.89 ± 2.59 m in late April. Our results provide technical support for studying ecological habits and habitat locating of aquatic animals.

Key words: Chinese mitten crab; ultrasonic telemetry; external fixation; Yangtze Estuary; spawning ground.

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 隶属于十足目的绒螯蟹属, 是中国重要的经济物种, 广泛分布于中国沿海及通海的水域中, 具有降海洄游和溯河洄游习性, 秋季性成熟个体洄游至近海河口交配产卵, 翌年春季大眼幼体溯河而上, 在淡水中继续生长 (堵南山, 2004; 刘文亮等, 2007)。中华绒螯蟹在辽河、瓯江和长江水系中均有较高产量, 其中以长江系中华绒螯蟹具有最好的生长性能, 味道更鲜美 (Sui *et al.*, 2011)。然而, 20 世纪 80 年代起, 由于长江中华绒螯蟹天然资源被过渡捕捞及其繁殖生境被破坏, 天然资源急剧衰退, 亲蟹年捕捞量始终维持在 1 t 以下, 蟹苗捕捞量同样维持在 0.5 t 以下 (施炜纲等, 2002; 王武等, 2010)。近年来通过增殖放流、春季禁渔等资源保护措施的实施, 长江中华绒螯蟹资源出现一定恢复 (刘凯等, 2007, 2013; 景丽, 2012; 王海华等, 2016)。然而, 多年的增殖放流常常消耗大量人力物力, 无法从根本上遏制其种群资源的衰退, 甚至可能造成种质的混杂和退化 (程家骅等, 2010; 王武等, 2010)。目前, 生境修复技术正逐渐成为替代增殖放流的重要手段, 且能够显著改善栖息地周边水质环境 (陈勇等, 2002; 刘猛等, 2008; 李华等, 2011; 秦传新等, 2011; 赵峰等, 2015)。因此, 为有效修复长江口中华绒螯蟹产卵场, 对其进行准确定位成为关键。

标志回捕是研究水生动物洄游、分布和栖息地的主要方法, 但其只能比较水生动物放流时和重捕时的两个地点, 不能对标志个体进行连续观察, 存在较大的局限性 (叶冀雄, 1979)。近年, 无线电、超声波等生物遥测技术在研究水生动物洄游特征和生活史过程中已得到应用 (Kilfoyle *et al.*, 2000; Arnold *et al.*, 2001), 其中超声波遥测是一种广泛用于水生动物的技术, 通过将超声波标志固定在水生动物上, 遥测跟踪标志个体来收集其详细且瞬时的数据, 并结合生态环境来研究其生活史中一段时期内的行为。超声波标志的固定方法分植入体内 (Boyd *et al.*, 1995) 和附在体外 (Lagardère *et al.*, 1990) 两种, 在标志未发生脱落的情况下, 获得超声波标志的地理位置即获得了水生动物的定位。目前, 国外学者已通过超声波遥测法研究了鲎类 (Smith *et al.*, 2010; Schaller *et al.*, 2010; Watson *et al.*, 2010; Cartwright-Taylor *et al.*, 2012)、大型蟹类 (Gualtieri *et al.*, 2013; Froehlich *et al.*, 2014) 的生活习性、洄游路线、产卵场分布等, 而国内仅 Boyd 等 (1995) 对中华鲟

洄游路线进行过跟踪调查。本研究以中华绒螯蟹抱卵亲体 (简称抱卵蟹) 为对象, 评估体外固定法固定超声波标志的效果, 利用移动追踪系统定期追踪标志抱卵蟹, 从而揭示其水平和垂直活动规律, 为研究中华绒螯蟹的生活习性、产卵场分布等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

抱卵中华绒螯蟹 (简称抱卵蟹) 于 2014 年 11 月捕捞于长江口北槽深水航道水域, 选取 240 只无残肢、规格相近、胚胎发育为原肠早期的抱卵蟹, 头胸甲长 63.00 ± 2.91 mm (mean \pm SD), 头胸甲宽 67.20 ± 2.53 mm, 体质量 132.38 ± 21.58 g。将抱卵蟹在室内水泥池中暂养 7 d, 用水为过滤暴晒后的自来水, 水温 8 ~ 10 °C, 盐度 15 ~ 18, 溶解氧 8.0 ~ 8.5 mg · L⁻¹, 每日下午 5 点投喂一次, 饵料为鲜活河蚬。

1.2 实验设备

超声波标志 14 枚 (MM-M-11-SO-TP, Lotek 公司, 加拿大), 声波频率 76 kHz, 长 47 mm、直径 11 mm、重 8.2 g, 具压强和水温感受器, 寿命 192 d; 移动追踪系统 (MAP 600 RT, Lotek 公司, 加拿大), 灵敏度为 -171 dB (*re* 1 V/μPa); 船载卫星 GPS 导航仪 (XF-607, 厦门新诺, 中国) 等。

1.3 实验方法

1.3.1 标志安装方法 取 2 根尼龙扎带 (100 mm × 3 mm), 内侧涂上一层快干胶水, 将其分别固定在超声波标志的前后两端适中位置 (图 1a), 将扎带多余部分剪掉, 自然风干 (图 1b)。将尼龙布剪成大小适中的长方形, 并将两根铜丝分别穿过尼龙布前后两端 (图 1c)。随后将中华绒螯蟹背部擦干, 用快干胶将带铜丝尼龙布粘贴在其背部适宜位置 (图 1d), 待粘牢后, 即可用铜丝将超声波标志固定在抱卵蟹背部, 并保持信号发射端呈一定角度上仰 (图 1e), 标志蟹暂养在室内, 备用 (图 1f)。

1.3.2 标志蟹的死亡率和脱标率 以 3 种备选超声波标志 (表 1) 为样版, 采用直径 10 mm、中空的 PVC 管, 并利用内填铅粒的方式调节其重量, 制作替代标志各 45 个。随机挑选 60 只抱卵蟹并分为 4 组, 各 15 只, 分别为 A、B、C 和 D 组。采用上述标志固定法, 分别对 A、B、C 组抱卵蟹标志 a、b、c 型号超声波标志的替代标志 (图 2), D 组为对照组 (不标志), 每组设置 3 个平行。随后养殖在室内水槽中,

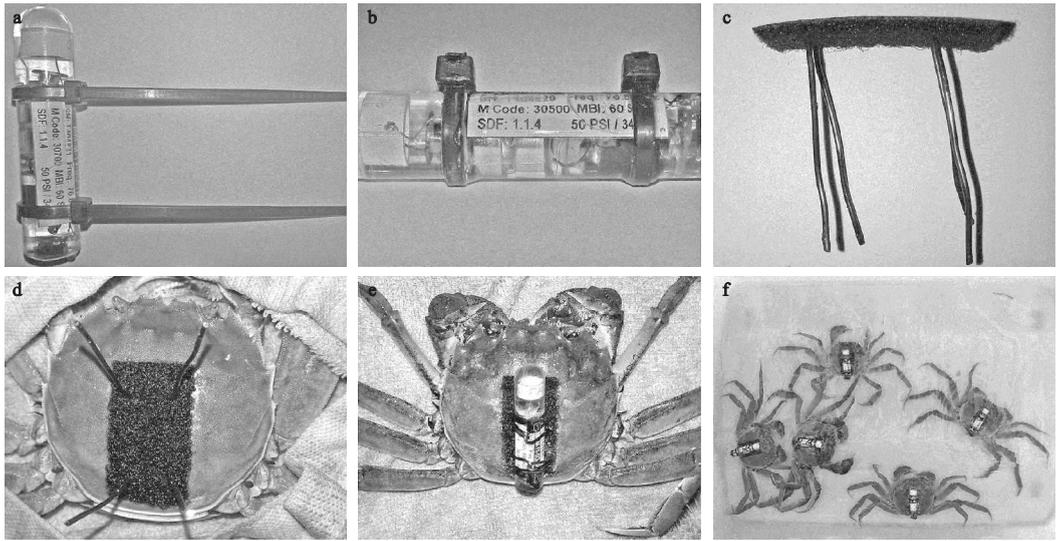


图1 超声波标志的体外固定步骤
Fig.1 Steps of the external attachment of ultrasonic transmitters

养殖条件同上,并记录1个月后各组的脱标和死亡个数,统计各组脱标率和死亡率。

1.3.3 移动追踪系统的安装和有效距离测量 移动追踪系统 MAP 600 RT 由 2 个水听器、信号接收器和便携式计算机组成,首先将水听器固定在 2 根钢管内,下端露出水听器的接收端,随后将钢管分别固定在船舷两侧,水听器接收端保持在水下 2 m,通过线缆将 2 个水听器收到的数据传给信号接收器,接收器处理和分析水下声波信号,并将信号传给计算机,即可获得超声波标志信号。

移动追踪系统追踪超声波标志距离的测量:在长江口北槽水域,将超声波标志固定在深度约 10 m

表 1 三种类型超声波标志的规格和功能
Table 1 Sizes and functions of three acoustic transmitters

类型	长度 (mm)	直径 (mm)	重量 (g)	理论使用时长 (d)	传输信息
a	25	8	3.78	192	ID
b	47	11	8.20	192	ID+T+P
c	60	12	11.00	192	ID+T+P+M

ID 为标志编号, T 为温度, P 为压强, M 为瞬时速率。

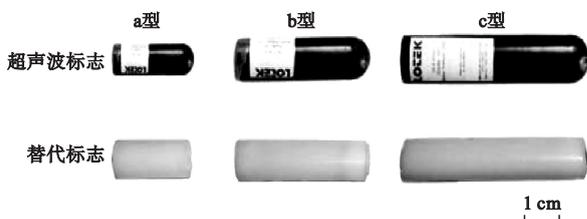


图 2 三种型号超声波标志及替代标志
Fig.2 Three types of acoustic transmitters and the dummy transmitters

的水底,随后驾驶安装移动追踪系统的追踪艇缓慢驶离该标志,同时记录超声波标志的声波信号强度和追踪艇的实时坐标,重复 3 次。

1.3.4 研究区概况 研究区域位于长江口北槽深水航道水域(图 3),曾作为中华绒螯蟹的主要产卵场,也是近年冬蟹的重要捕捞水域(刘凯等,2013)。该水域 8 月平均水温最高,为 27.5~28.8 °C,2 月平均水温最低,为 5.6~6.7 °C;12 月至翌年 3 月为枯水期,4 月、5 月和 10 月、11 月为中水期,6—9 月为洪水期(庄平等,2006)。区域内水体浑浊,存在大量的有机碎屑和腐殖质等,底质多为淤泥,含少量细沙;2006 年深水航道治理工程竣工后,航道中心水深可达 20 m 以上,南北两面的堤坝常年露出水面,可作为预防标志蟹逃逸的天然屏障(唐文乔等,2003)。

1.3.5 标志蟹的放流与追踪 2014 年 12 月 25 日,将 14 只采用体外固定法标志超声波标志的抱卵

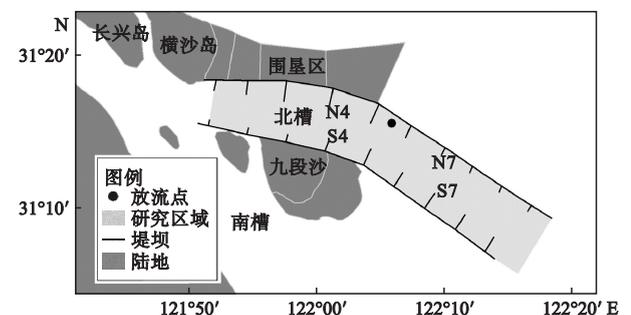


图 3 研究区域在长江口的地理位置
Fig.3 The study area in the Yangtze Estuary

蟹放流在长江口北槽北堤5号坝至6号坝之间水域(图3),次日利用移动追踪系统对研究区域进行第一次扫描,随后每14天定期扫描监测一次,至翌年5月中旬结束,并实时保存扫描到的标志蟹的坐标、栖息水体的压强和温度等信息,统计每次扫描监测到标志蟹的总频次及单只标志蟹的出现频次。

1.4 数据分析

采用 T 检验(Student's T -test) 比较固定不同替代标志的抱卵蟹的脱标率和死亡率;以扫描到的标志蟹出现频次数据为基础,采用单因素方差分析(one-way ANOVA) 比较各调查航次间的平均频次差异;绘制1—4月标志蟹出现总频次的水平分布图,将堤坝 N4 和 S4 以西水域定义为上游区域, N7 和 S7 以东水域为下游区域,中部水域为中游区域,采用 T 检验分别比较每月标志蟹在各区域出现频次的差异;根据超声波标志信号中的水压数据,分析抱卵蟹在不同月份栖息水深的变化,采用单因素方差分析比较其垂直分布的差异。利用 ArcGIS 10.0 绘制标志蟹出现频次的空间分布图, SPSS 20.0 进行 T 检验、单因素方差分析和多重比较(LSD),显著性水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 标志蟹的死亡率和脱标率

A、B、C、D 组抱卵蟹的死亡率分别为 $6.67\% \pm 6.67\%$ 、 $2.22\% \pm 3.85\%$ 、 $4.44\% \pm 7.70\%$ 、 $4.44\% \pm 3.85\%$, T 检验结果显示各组间无显著性差异($P > 0.05$)。A、B、C 组抱卵蟹的脱标率分别为 0% 、 $2.22\% \pm 3.85\%$ 、 $17.78\% \pm 3.85\%$, A 组与 B 组间无显著性差异($P > 0.05$), C 组抱卵蟹的脱标率均极显著大于 A 组和 B 组($P < 0.01$) (图4)。

2.2 移动追踪系统的追踪距离

由图5可知,随着移动追踪系统与超声波标志间距离的增加,其接收到的信号强度呈衰变趋势,衰变方程式为: $y = -0.0755x + 63.082$ ($R^2 = 0.977$), 式中, x 为超声波标志与移动追踪系统间的距离, y 为移动追踪系统接收到的信号强度。3次试验表明,该移动追踪系统对超声波标志的最大追踪距离为 532 ± 16 m。

2.3 标志蟹出现频次的变化

对标志蟹追踪的结果显示,12月下旬至5月上旬分别追踪到10、12、13、9、9、9、6、4、2只标志蟹;各调查航次追踪到的标志蟹的总频次和单蟹平均频

次如图6所示,其中3月下旬总频次最大,为105次,5月上旬总频次最小,为19次。3月下旬单蟹平

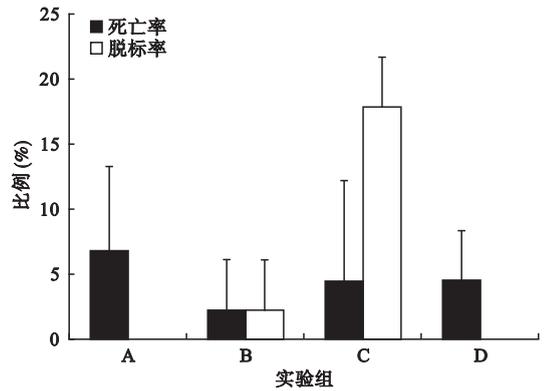


图4 标志不同类型替代标志抱卵蟹的死亡率和脱标率
Fig.4 Mortality and tag shedding rates of berried crabs (*Eriocheir sinensis*) tagged with different dummy transmitters

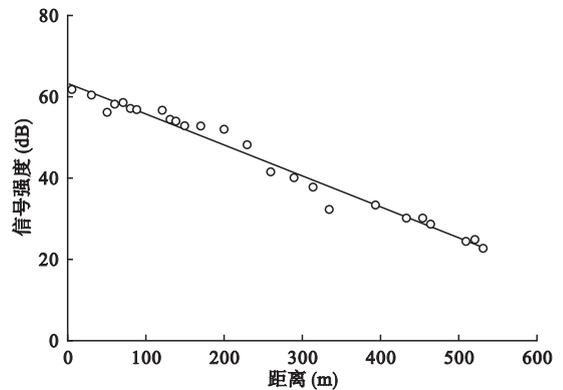


图5 移动追踪系统追踪超声波标志的信号强度与两者间距离的关系

Fig.5 Relationship between the signal power of transmitters and the distance

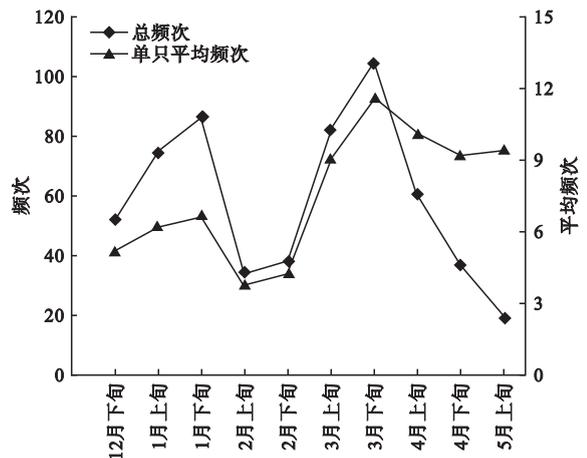


图6 不同时间标志蟹出现总频次和单蟹平均频次的变化
Fig.6 Change of the total frequency and average frequency of the received signal among all voyage investigations

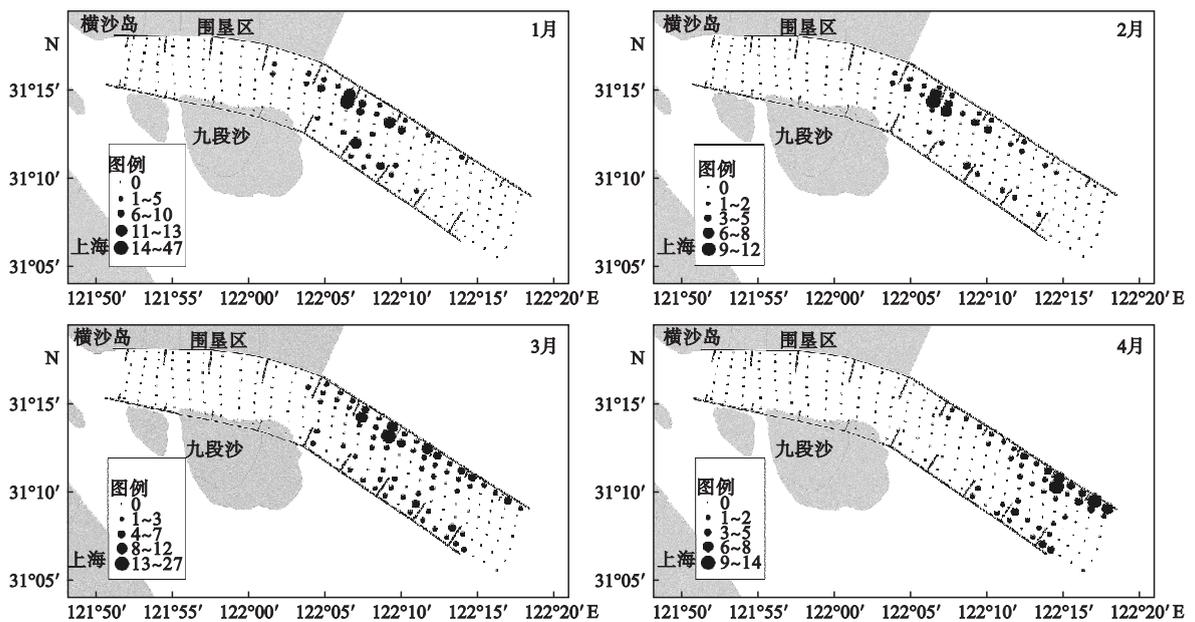


图7 1—4月标志蟹出现总频次在研究区域的水平分布

Fig.7 Horizontal distribution of the frequency of the received signal between January and April

均频次最大,为 11.67 ± 4.64 , 2月上旬平均频次最小,仅 3.78 ± 2.59 , 方差分析结果显示3月下旬平均频次显著大于12月下旬、2月上旬和下旬 ($P < 0.05$), 4月上旬平均频次显著大于2月上旬 ($P < 0.05$), 其他组间差异不显著。

2.4 标志蟹水平分布的月变化

图7显示,标志蟹主要出现在深水航道的南北两侧的堤坝附近水域,其在实验期间均未出现在研究水域的上游区域,1—2月主要活动于放流点附近的中游区域,3月在中游和下游区域均有出现,4月则主要出现在近海的下游区域,呈逐步东移的趋势。

1—4月标志蟹在中游区域出现的频次分别为 69.00 ± 7.07 、 27.00 ± 1.41 、 47.00 ± 1.62 、 3.50 ± 3.54 , 在下游区域出现的频次分别为 12.00 ± 1.41 、 9.00 ± 4.24 、 46.50 ± 14.85 、 46.00 ± 14.14 。1—2月标志蟹在中游区域出现的平均频次大于下游区域,3月中游和下游区域的平均频次差异较小,4月下游区域的平均频次大于中游区域(图8), T 检验结果表明,1月标志蟹出现在中游区域的频次显著大于下游区域 ($P < 0.05$), 4月出现在下游区域的频次显著大于中游区域 ($P < 0.05$), 其余组内差异不显著。

2.5 标志蟹栖息水深的变化

标志蟹栖息的水深和水温数据表明,1月上旬至2月上旬随着水温的下降,标志蟹逐步由水深 8.25 ± 3.35 m的水域移至水深 11.10 ± 2.64 m的水域

栖息;2月下旬至4月上旬随着水温的回升,标志蟹偏好水深6.35 m左右的水域;4月下旬标志蟹的栖息水深为 9.89 ± 2.59 m, 方差分析结果表明,标志蟹的栖息水深在不同时间之间差异极显著 ($F = 342.09$, $P < 0.01$) (图9)。

3 讨论

目前,伴随环境污染、涉水工程建设等因素的影响,我国水生动物的栖息地普遍面临破碎甚至消失的威胁。近年来,超声波遥测技术已发展成为包括鱼类、甲壳类、豚类及海龟等水生动物栖息地研究的主要手段之一(王成友等,2010)。然而,国内外学

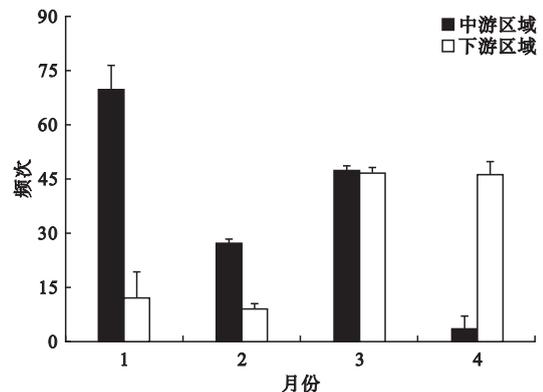


图8 标志蟹在中游和下游区域出现的平均频次变化
Fig.8 Average frequency of the received signal in the region of the middle and lower reaches

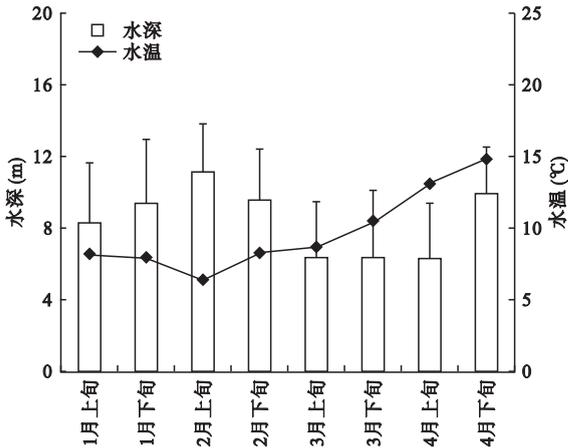


图9 1—4月抱卵蟹栖息水深及水温的变化

Fig.9 Change of the depth of the berried crab habitat between January and April

不同小写字母表示各组间差异显著, $P < 0.05$ 。

者仅对大型水生动物的超声波标志固定方法进行了一定研究,而未见关于小型水生动物的超声波标志固定方法的研究,因此本研究开发了一种适用于小型甲壳类的超声波标志固定方法。结果表明,该超声波标志的体外固定法对抱卵中华绒螯蟹的死亡率无显著影响,获得较理想的效果。Baras等(1995)认为,超声波标志重量应不超过实验个体体重的5.00%,然而通过比较标志不同规格超声波标志抱卵蟹的脱标率发现,固定标志重量为抱卵蟹体重的6.20% (8.20 g)时,脱标率与较小标志(3.78 g)无显著差异,当标志重量达抱卵蟹体重的8.31% (11.00 g)时,脱标率显著升高,达17.78%。因此,本研究选用了重量为8.20 g的超声波标志用于中华绒螯蟹活动规律的研究。由于本研究仅进行了1个月,而且自然环境复杂多变,此种超声波标志的体外固定法是否会受到影响,有待进一步研究。

超声波标志声波传播的距离与其频率、输出电压和水体环境密切相关,32 kHz的超声波标志传播距离为2.5 km,300 kHz的标志一般只能传播400 m的距离(Woodward *et al.*, 1994)。本研究所用超声波标志的频率为76 kHz,使用移动追踪系统接收其信号,最大追踪距离仅达532 m左右,这可能与长江口深水航道环境噪音较大相关(Fuller *et al.*, 1992; Klimley *et al.*, 1998)。超声波遥测系统包括发射装置(超声波标志牌)和监测装置两部分,监测装置分为移动跟踪系统(Fairchild *et al.*, 2009)、固定监测接收仪(James-Pirri, 2010)和自动监测系统(Ralston *et al.*, 1986),3种系统在河流、河口和海洋应用中各

有优势。实验发现,由于长江口水流较急,且超声波标志所发射的声波信号方向性较强,加上标志蟹的活动,常常导致移动追踪系统丢失信号。因此,在河口、大洋等环境变化剧烈的水域中,较难将移动追踪系统用于长时、连续的跟踪目标生物,仅用于在一定水域中扫描目标生物。然而,由于移动追踪系统无法揭示标志蟹的最终去向,因此有必要利用固定监测接收仪或自动监测系统进一步完善该研究。

目前,中华绒螯蟹洄游、繁殖习性的研究主要还是集中在传统资源调查(施炜纲等, 2002; Herborg *et al.*, 2005; Gilbey *et al.*, 2007)、体外标志放流(曹侦等, 2013)和室内行为实验(庄平等, 2012)等。张列士等(2002)研究表明,11—12月栖息在江河、湖泊的中华绒螯蟹开始向长江口咸淡水交汇水域进行生殖洄游,抵达长兴岛后分为两支,一支穿过东旺沙与横沙夹道后抵达铜沙北侧,另一支沿长兴岛南侧分别经北槽和南槽抵达九段沙东北侧和南侧深水区进行交配。蒋金鹏等(2014)采用底拖网栖息地适合度模型法研究了中华绒螯蟹抱卵亲体在长江口栖息的环境需求,认为其可能栖息在盐度9~15、水体流速 $1.3 \sim 1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、水深3~6 m、透明度10~23 cm水域,推测抱卵蟹主要分布在横沙以东20海里和九段沙下游5海里海域中。本研究采用超声波遥测法准确获得了抱卵中华绒螯蟹在横沙以东水域的空间分布变化规律,1—3月其主要在深水航道中游区域水深11 m左右的水域栖息,活动较少;3月后其逐渐向下游区域6 m左右的水域移动,活动量显著增加;4月大部分标志蟹已离开该水域,余下少量个体栖息在下游区域6~10 m的水域,这可能与水温回升后抱卵蟹的孵卵行为有关。

参考文献

- 陈勇, 于长清, 张国胜, 等. 2002. 人工鱼礁的环境功能与集鱼效果. 大连海洋大学学报, **17**(1): 64-69.
- 程家骅, 姜亚洲. 2010. 海洋生物资源增殖放流回顾与展望. 中国水产科学, **17**(3): 610-617.
- 堵南山. 2004. 中华绒螯蟹的洄游. 水产科技情报, **31**(2): 56-57.
- 蒋金鹏, 冯广朋, 章龙珍, 等. 2014. 长江口中华绒螯蟹抱卵蟹生境适宜度初步评估. 海洋渔业, **36**(3): 232-238.
- 景丽. 2012. 长江下游干流中华绒螯蟹种群特征的研究(硕士学位论文). 南京: 南京农业大学.
- 刘凯, 段金荣, 徐东坡, 等. 2007. 长江口中华绒螯蟹亲体捕捞量现状及波动原因. 湖泊科学, **19**(2): 212-217.
- 刘凯, 汤滔, 段金荣, 等. 2013. 长江口九段沙水域中华绒螯蟹汛期特征及影响因子. 中国水产科学, **20**(3): 614-623.

- 刘 猛,夏自强,韩 帅. 2008. 生态水工学理论及其在河流生态修复中的应用. 水资源保护, (S1): 118-121.
- 刘文亮,何文珊. 2007. 长江河口大型底栖无脊椎动物. 上海:上海科学技术出版社.
- 秦传新,陈丕茂,贾晓平. 2011. 人工鱼礁构建对海洋生态系统服务价值的影响——以深圳杨梅坑人工鱼礁区为例. 应用生态学报, **22**(8): 2160-2166.
- 施炜纲,周 昕,杜晓燕. 2002. 长江中下游中华绒螯蟹亲体资源动态研究. 水生生物学报, **26**(6): 641-647.
- 唐文乔,诸廷俊,陈家宽,等. 2003. 长江口九段沙湿地的鱼类资源及其保护价值. 上海海洋大学学报, **12**(3): 193-200.
- 王 武,李应森. 2010. 河蟹生态养殖. 北京:中国农业出版社.
- 王成友,危起伟,杜 浩,等. 2010. 超声波遥测在水生动物生态学中的应用. 生态学杂志, **29**(11): 2286-2292.
- 王海华,庄 平,冯广朋,等. 2016. 长江赣皖段中华绒螯蟹成体资源变动及资源保护对策. 浙江农业学报, **28**(4): 567-573.
- 叶冀雄. 1979. 现代标志放流鱼的几种方法. 水产科技情报, **7**(1): 30-31.
- 张列士,朱选才,袁善卿,等. 2002. 长江口中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)蟹苗汛期预报的研究. 水产科技情报, **29**(2): 56-60.
- 赵 峰,黄孝锋,张 涛,等. 2015. 利用人工飘浮湿地恢复长江口生物多样性研究初探. 渔业信息与战略, **30**(4): 288-292.
- 庄 平,贾小燕,冯广朋,等. 2012. 不同盐度条件下中华绒螯蟹亲蟹行为及血淋巴生理变化. 生态学杂志, **31**(8): 1997-2003.
- 庄 平,王幼槐,李圣法,等. 2006. 长江口鱼类. 上海:上海科学技术出版社.
- Boyd Kynard, 危起伟,柯福恩. 1995. 应用超声波遥测技术定位中华鲟产卵区. 科学通报, **40**(2): 172-174.
- Arnold G, Dewar H. 2001. Electronic tags in marine fisheries research: A 30-year perspective// Electronic tagging and tracking in marine fisheries. Netherlands: Springer: 7-64.
- Baras E, Lagardère JP. 1995. Fish telemetry in aquaculture: Review and perspectives. *Aquaculture International*, **3**: 77-102.
- Cartwright-Taylor L, Ng HH, Goh TY. 2012. Tracked mangrove horseshoe crab *Carcinoscorpius rotundicauda* remain resident in a tropical estuary. *Aquatic Biology*, **17**: 235-245.
- Fairchild EA, Rennels N, Howell H. 2009. Using telemetry to monitor movements and habitat use of cultured and wild juvenile winter flounder in a shallow estuary // Tagging and Tracking of Marine Animals with Electronic Devices. Netherlands: Springer: 5-22.
- Froehlich HE, Essington TE, Beaudreau AH, et al. 2014. Movement patterns and distributional shifts of Dungeness crab (*Metacarcinus magister*) and English Sole (*Parophrys vetulus*) during seasonal hypoxia. *Estuaries and Coasts*, **37**: 449-460.
- Fuller MR, Priede IG, Swift SM. 1992. Wildlife telemetry: Remote monitoring and tracking of animals. *Journal of Wildlife Management*, **59**: 411.
- Gilbey V, Attrill MJ, Coleman RA. 2008. Juvenile Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) in the Thames estuary: Distribution, movement and possible interactions with the native crab *Carcinus maenas*. *Biological Invasions*, **10**: 67-77.
- Gualtieri JS, Aiello A, Antoine-Santoni T, et al. 2013. Active tracking of *Maja Squinado* in the Mediterranean Sea with wireless acoustic sensors: Method, results and perspectives. *Sensors*, **13**: 15682-15691.
- Herborg LM, Rushton SP, Clare AS, et al. 2005. The invasion of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) in the United Kingdom and its comparison to continental Europe. *Biological Invasions*, **7**: 959-968.
- James-Pirri MJ. 2010. Seasonal movement of the American horseshoe crab *Limulus polyphemus* in a semi-enclosed bay on Cape Cod, Massachusetts (USA) as determined by acoustic telemetry. *Current Zoology*, **56**: 575-586.
- Kilfoyle DB, Baggeroer AB. 2000. The state of the art in underwater acoustic telemetry. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, **25**: 4-27.
- Klimley AP, Voegeli F, Beavers SC, et al. 1998. Automated listening stations for tagged marine fishes. *Marine Technology Society Journal*, **32**: 94-101.
- Lagardère JP, Ducamp JJ, Favre L, et al. 1990. A method for the quantitative evaluation of fish movements in salt ponds by acoustic telemetry. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **141**: 221-236.
- Ralston SL, Horn MH. 1986. High tide movements of the temperate-zone herbivorous fish *Cebidichthys violaceus* (Girard) as determined by ultrasonic telemetry. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **98**: 35-50.
- Schaller SY, Chabot CC, Watson WH. 2010. Seasonal movements of American horseshoe crabs *Limulus polyphemus* in the Great Bay estuary, New Hampshire (USA). *Current Zoology*, **56**: 587-598.
- Smith DR, Brousseau LJ, Mandt MT, et al. 2010. Age and sex specific timing, frequency, and spatial distribution of horseshoe crab spawning in Delaware Bay: Insights from a large-scale radio telemetry array. *Current Zoology*, **56**: 563-574.
- Sui LY, Mathieu W, Cheng YX, et al. 2011. Larviculture techniques of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*. *Aquaculture*, **315**: 16-19.
- Watson WH, Chabot CC. 2010. High resolution tracking of adult horseshoe crabs *Limulus polyphemus* in a New Hampshire estuary using a fixed array ultrasonic telemetry. *Current Zoology*, **56**: 599-610.
- Woodward B, Bateman SC. 1994. Diver monitoring by ultrasonic digital data telemetry. *Medical Engineering & Physics*, **16**: 278-286.
-
- 作者简介 耿 智,男,1987年生,助理研究员,博士,主要从事水生动物生态学方面研究. E-mail: genglinian@126.com
- 责任编辑 李凤芹