

惠东幼年绿海龟的洄游规律及觅食地选择

叶明彬^① 陈华灵^{①#} 观玉安^① 端金霞^① 李满文^①
刘锦泉^① 李丕鹏^② 虞皓琦^③

^① 广东惠东海龟国家级自然保护区管理局 惠东 516359;

^② 沈阳师范大学爬虫研究所/辽宁省进化与生物多样性重点实验室 沈阳 110034; ^③ 广东省科学院动物研究所 广州 510260

摘要: 绿海龟 (*Chelonia mydas*) 为全球性濒危物种、我国 I 级重点保护野生动物。栖息地保护是野生绿海龟保护的一种极为重要和有效的保护策略, 但我国幼年绿海龟的生活习性及其栖息地分布尚不明确, 故开展相关洄游行为及栖息地分布研究意义重大。2011 至 2015 年间, 将 6 只来自广东惠东海龟国家级自然保护区人工培育 2 ~ 14 a 的幼年绿海龟, 分为夏季组 ($n=3$) 及冬季组 ($n=3$), 在其背甲上安装追踪器。其中, 2 只个体分别安装了美国 Wildlife Computers 公司生产的追踪器 SPOT5-AM-S181C 和 SPOT5-AM-S244A, 另外 4 只个体安装美国 Telonics 公司生产的 TAM-2639 追踪器, 然后在出生地放归。利用全球 ARGOS 系统实施全天候的追踪监测, 地理坐标数据的筛选及分析在卫星追踪分析工具软件 (STAT) 上完成。6 只个体 4 年共获得有效位点 397 个, 其中, 包括前期研究获得的有效位点 62 个。相关有效位点输入免费软件 Maptool, 通过 GIS 图层叠加、汇总生成洄游路线图。研究结果用以揭示我国幼年绿海龟的洄游规律。使用 SPSS 软件 t -检验统计冬夏两组海龟间的个体大小及洄游速度是否存在统计学差异。冬季组、夏季组绿海龟的背甲曲线长 (CCL) 分别为 (48.9 ± 8.65) cm 和 (59.07 ± 7.64) cm, 组间无显著性差异 ($t=1.527$, $df=4$, $P=0.202$)。追踪期平均 (66 ± 47) d, 追踪路程 $(1\ 653 \pm 1\ 585)$ km ($n=6$)。平均最小洄游速度, 夏季组为 (1.63 ± 0.22) km/h ($n=3$), 冬季组为 (0.67 ± 0.12) km/h ($n=3$), 夏季组明显较冬季组高 ($t=6.726$, $df=4$, $P=0.003$); 夏季及冬季分别游往台湾和海南两个方向, 主要沿大陆架 140 m 等深线以内海域洄游, 所有个体的洄游路线及方向均与同期海流大致相同, 活动范围与近海渔场及开发区域高度重叠, 与早期野外调查结果一致。仅冬季组观察到定居及归巢行为, 越冬场分布在越南昏果岛及我国海南岛东部; 越夏场则分布在福建至浙江一带, 主要分布在近岸或近岛 20 m 等深线以内浅海, 为底栖大型海藻、海草床或珊瑚礁的集中分布区。研究结果揭示, 惠东人工培育幼年绿海龟放归后可正常洄游、觅食和适应野外环境, 在东海、南海之间作季节性定向洄游的趋势十分明显, 觅食地沿我国大陆架沿岸及附属海岛分布, 进一步印证了我国近海绿海龟洄游廊道的存在。建议把北部湾、琼州海峡、海南东部、广东、福建、浙江及台湾沿岸及附属岛屿的海洋保护地整合优化, 制订国家海龟栖息地名录, 组建海洋类型国家公园保护网络, 同时深入开展国际及地区间的保护合作, 加强绿海龟及其觅食地和洄游廊道这些重要栖息地保护, 使海龟整个生命周期得到有效和完整的保护。

关键词: 季节性洄游; 觅食地; 卫星追踪; 国家公园; 栖息地

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2021) 04-522-13

基金项目 广东省海洋经济发展专项 (No. GDNRC2020040)、广东省林业科技创新专项 (No. 2021KJCX008);

第一作者简介 叶明彬, 男, 高级工程师; 研究方向: 绿海龟全人工繁育及保护; E-mail: 454134217@qq.com;

共同第一作者 陈华灵, 男, 工程师, 研究方向: 绿海龟全人工繁育及保护; E-mail: 81579294@qq.com。

收稿日期: 2021-01-29, 修回日期: 2021-05-11 DOI: 10.13859/j.cjz.202104005

Satellite-Tracking Reveals and Highlights: Migration Route and Key Foraging Sites for Headstarting Juveniles (*Chelonia mydas*) from Huidong National Sea Turtle Reserve, China

YE Ming-Bin^① CHEN Hua-Ling^{①#} GUAN Yu-An^① DUAN Jin-Xia^① LI Man-Wen^①
LIU Jin-Quan^① LI Pi-Peng^② YU Hao-Qi^③

① Huidong Sea Turtle National Reserve Management Bureau, Huidong 516359;

② Institute of Herpetology and Liaoning Key Lab of Evolution and Biodiversity, Shenyang Normal University, Shenyang 110034;

③ Institute of Zoological, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510260, China

Abstract: The green turtle (*Chelonia mydas*) is a globally endangered species and listed as Class I of protected animals in China. Habitat conservation is an important and effective conservation strategy for this species. However, the habits and habitat of juvenile green turtles in China are not clear yet. We six tagged juvenile green turtles aged from 2 to 14 years old from the Huidong National Sea Turtle Reserve of China with six satellite transmitters, including two American Wildlife Computer trackers (Spot5-AM-S181C, $n = 1$; Spot5-AM-S244A, $n = 1$), and four Telonics trackers (TAM-2639) (Table 1) between 2011 and 2015. We released them in the summer ($n = 3$) and in the winter ($n = 3$). The global ARGOS system was used to carry out an all-weather tracking and monitoring, and the geographic coordinate data were filtered and analyzed using the satellite tracking and analysis tool (STAT) software. We obtained a total of 397 effective locations for the four years (including 62 obtained from previous studies). GIS layers were then generated and overlaid with MapTool software to reveal the migration of juvenile green turtles. The SPSS software t-test was used to determine statistical difference between the two season data on individual size and minimum travel speeds. The curve carapace lengths (CCL) in the turtle released in winter and in summer were with 48.9 ± 8.65 cm ($n = 3$), and 59.07 ± 7.64 cm ($n = 3$), respectively, with no difference between the two groups ($t = 1.527$, $df = 4$, $P = 0.202$). The average tracking period was 66 ± 47 d ($n = 6$), and the tracking distance was $1\ 653 \pm 1\ 585$ km ($n = 6$). The average minimum travel speed in the summer group was 1.63 ± 0.22 km/h ($n = 3$), which is longer than those turtles in winter group (0.67 ± 0.12 km/h, $n = 3$; $t = 6.726$, $df = 4$, $P = 0.003$). They migrated to Taiwan in summer and to Hainan in winter, along and within the 140 m isobath of the continental shelf. The migration directions of all individuals were as same as the monsoon currents of the sea during the same period (Fig. 1). Homing behavior was observed only in the winter group (Fig. 2). The over-winter sites were mainly distributed in Con Co Island of Vietnam and the eastern part of Hainan Island, whereas the over-summer habitats were located between Fujian and Zhejiang, but all were within the 20 m isobath and with concentrated distribution of macro-algae, seagrass beds, or coral reefs. The activity area overlapped with the offshore fishing ground and other development areas, which was consistent with the results of previous research. The captive juvenile green turtles could migrate normally, forage, and adapt to the wild environment after being released, and they tended to migrate seasonally between the East China Sea and South China Sea. The foraging sites are primarily distributed along the coast of the continental shelf and affiliated islands of China,

which further confirms the existence of migratory corridors for green turtles offshore of China. We suggest integrating and formulating marine national parks off the Beibu Gulf, Eastern Hainan, Guangdong, Fujian, Taiwan and Zhejiang Marine Nature Reserves, strengthening international and regional cooperation to protect the natal grounds, foraging grounds, migratory corridor, and other habitats of green turtles, to ensure effective protection of their life cycle.

Key words: Seasonal migration; Foraging sites; Satellite tracking; National Park; Habitat

受商业贸易、渔业捕捞及海洋污染等人类活动影响,全球海龟数量急剧下降,现存7种海龟均面临灭绝的危险(Seminoff et al. 2002)。尽管我国将国内分布的绿海龟(*Chelonia mydas*)、玳瑁(*Eretmochelys imbricata*)、太平洋丽龟(*Lepidochelys olivacea*)、棱皮龟(*Dermochelys coriacea*)及蠵龟(*Caretta caretta*)这5种海龟均列入国家重点保护野生动物名录,且2021年已全部升级为国家I级并给予重点保护,建立多处专门的产卵地自然保护区,但全国绿海龟产卵量仍持续下降。近年海南三沙、广东惠东、香港南丫岛及台湾诸岛等绿海龟主要产卵地,最高年产仅共约200窝(王静等 2019),估计全国野外上岸产卵的成年绿海龟每年最多不足50只,形势十分严峻。因此我国政府将海龟人工繁育及增殖放流纳入《中国海龟保护行动计划(2019-2033)》(农业农村部 2019),以进一步加快野生海龟资源的保护和修复。早期开展过的海龟资源调查(王亚民 1993,牟剑峰等 2013)、海龟卵人工孵化与性别鉴定(张晓荣等 1993,陈华灵等 2007,古河祥等 2010)、食性生理(Chen et al. 2015)、龟苗培育与病害防控(叶明彬等 2004, 2020)、卫星追踪(Cheng 2000, Song et al. 2001, Wang et al. 2002, Ng et al. 2014)及绿海龟的全人工繁育(Ye et al. 2020)等研究,为开展野生绿海龟种群复壮奠定了良好基础。但对海龟的早期生命阶段仍然知之甚少(Carr 1986, Bolten et al. 2003)。国内针对特定种群幼年绿海龟的相关野外调查和研究仅见Ng等(2017)通过基因分析,推测在中国香港、台湾以及大陆出生的绿海龟漂流期主要在广东沿岸、台湾海峡

以及东海海域觅食。叶明彬等(2014, 2015)通过卫星追踪3只人工繁育幼年绿海龟,初步发现其洄游路线与野生绿海龟十分相似。但以上研究因受样本数量不足或研究方法所局限,均未能对我国特定种群幼年绿海龟的时空分布规律及洄游机制作更深入的探讨和研究。本研究在前期对3只幼年绿海龟追踪基础上(叶明彬等 2014, 2015),分别增加冬季($n=2$)及夏季($n=1$)追踪幼龟的样本数量。结合文献检索及GIS图层叠加,进一步揭示它们的洄游规律及其对关键觅食地的选择,提出优先保护区域。期望结果可为我国海龟等濒危海洋动物及典型海洋生态系统的保护与修复提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究地点

本研究海龟卵的采集、孵化、人工培育、野化及放归工作均在广东惠东海龟国家级自然保护区内开展。该保护区是目前中国大陆唯一的国家级海龟自然保护区,位于广东省惠东县稔平半岛最南端、大亚湾与红海湾交界处(北纬 $22^{\circ}33'$,东经 $114^{\circ}54'$),面积约 18 km^2 ,属亚热带海洋气候,表层水温年平均约 $22.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、冬季最低约 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、夏季最高约 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$,盐度 30‰ ~ 34‰ ,海水透明度约 $2\sim 9\text{ m}$,主要保护对象为绿海龟及其繁殖地。保护区及邻近海域生物多样性丰富,生物量和多样性水平较高,海岸及岩礁区生物资源极为丰富,优势种有半叶马尾藻(*Sargassum hemiphyllum*)、皱紫菜(*Porphyra crispata*)、海萝(*Gloiopeltis furcata*)、鹅肠菜(*Endarachne binghamiae*)等,

常见种有裂叶马尾藻 (*S. siliquastrum*)、亨氏马尾藻 (*S. henslowianum*)、羊栖菜 (*S. fusiforme*)、鹿角海萝 (*G. tenax*)、裂片石莼 (*Ulva fasciata*)、鸡毛菜 (*Pterocladid tenuis*)、铁钉菜 (*Ishige okamurai*)、蛎菜 (*U. conglobata*) 等。半叶马尾藻等海龟喜食的大型海藻主要分布在湾口海岸带或海岛离岸水深 5 m 以内海域, 以坚硬岩相基质的潮下带最为丰富, 生长旺盛期出现在冬末至春末之间 (蒋福康等 1996, 吴进锋等 2002, 丁兰平等 2011); 退化的珊瑚群落总体健康状况尚好, 大亚湾、大鹏湾总优势种分别为秘密角蜂巢珊瑚 (*Favites abdita*) 和精巧扁脑珊瑚 (*Platygyra daedalea*) (陈天然等 2007)。

1.2 研究用龟来源及选择

采集产于高潮线下、易被海水浸泡或冲走的海龟蛋, 经人工孵化、龟苗培育及野化训练后在出生地沙滩上放归。通过芯片标识建立个体谱系档案。人工培育期间采用自然海水或升温调控模式越冬, 食物以优质膨化饲料、冰鲜杂鱼和枪乌贼为主, 辅以各种大型海藻及蔬菜; 体重达 2 kg 后, 投放适当规格和数量的老虎斑

(*Epinephelus fuscoguttatus*) 混养, 训练幼龟躲避天敌能力。开展健康评估和筛选, 要求放归个体身强体壮、无明显外伤, 且近期生长率稳定, 游泳、潜水、捕食及逃避天敌能力良好。本研究选择 3 只幼龄绿海龟个体, 佩戴追踪器, 进行放归监测, 同时, 汇总前期研究中 3 只放归个体的监测数据 (叶明彬等 2014, 2015), 总计 6 只个体, 其年龄 (7.3 ± 4.6) a (2 ~ 14 a), 背甲曲线长 (curve carapace lengths, CCL) (54.0 ± 9.2) cm (42.0 ~ 64.8 cm), 体重 (21.1 ± 9.1) kg (8.5 ~ 31.2 kg) (表 1)。

1.3 追踪器选择及安装

6 只个体分别佩戴美国 Wildlife Computers 公司生产的 SPOTS5-AM-S244A 和 SPOTS5-AM-S181C 追踪器及 Telonics 公司的 TAM-2639 追踪器 (表 1), 追踪器重量不超过海龟体重的 2%。分别使用传统和快速点胶系统两种方法为幼龟佩戴追踪器, 通过清洗、砂纸打磨和 75% 酒精涂抹后, 用双组分环氧树脂胶水与玻璃纤维将追踪器粘贴在龟甲第二块椎盾中间位置, 约 45 min 胶水凝固后放归 (Cheng 2000, 叶明彬等 2015)。

表 1 幼龟基本情况

Table 1 Basic information of the six juveniles

	幼龟追踪器编号 Juveniles PTT ID					
	73040	70464	53744	40470*	65415*	52694
追踪器型号及重量 PTT model and weight (g)	Spot5-AM-S181C 50	Spot5-AM-S244A 110	TAM-2639 90	TAM-2639 90	TAM-2639 90	TAM-2639 90
出生年份 Birth year	1997	2000	2003	2010	2010	2012
追踪年份 Tracking year	2011	2011	2011	2014	2015	2014
年龄 Age (a)	14	11	8	4	5	2
体重 Body weight (kg)	31.2	18.2	14.7	22.5	31.2	8.5
背甲曲线长 Curve carapace lengths, CCL (cm)	62.0	50.4	46.1	58.6	64.8	42.0
人工培育越冬模式 Over-wintering pattern in captive	自然水温 Natural seawater temperature 15 - 22 °C			升温调控 Warming seawater temperature 18 - 24 °C		

* 同一母龟、同一年所产子代; 53744 (叶明彬等 2014)、73040、70464、53744 (叶明彬等 2015) 为前期研究已发表的追踪个体。

* from the same nest of the same female nested in the same year; 53744 was published in 2014 (Ye et al. 2014); 73040, 70464 and 53744 were published in 2015 (Ye et al. 2015).

1.4 数据筛选与分析

使用卫星追踪和分析工具 (satellite tracking and analysis tool, STAT, <http://www.seaturtle.org/stat>) 进行数据筛选与分析 (Coyne et al. 2005)。信号等级分为 LC 3、2、1、0、A、B 和 Z 共 7 个等级, LC 3 精确度最高, 误差小于 150 m, LC 2 误差约 350 m, LC 1 误差小于 1 000 m, LC 0 则大于 1 000 m (Shaver et al. 2007), LC A 误差与 LC 1 相当, 比 LC B 稍高 (Hays et al. 2001), LC Z 为无效信号。使用大圆弧航线方程法 (great circle route equation) 计算相邻位点间的距离。追踪路程为起点至终点间的非直线长度。平均最小洄游速度 (minimum travel speed) 通过洄游路程及追踪时间计算得出 (Broderick et al. 2007)。信号等级为 LC 3、2、1、0、A 或 B, 且同时满足两点间最小洄游速度不超过 5 km/h、24 h 内转角小于 90°, 或水深在 0.5 m 以上的位点为有效位点 (Da Silva et al. 2011)。洄游路线绝大部分使用 LC 3、LC 2、LC 1 及 LC A 等级位点, 大尺度时可适当增加部分 LC 0 及 LC B 等级位点。觅食地判定使用全部有效位点, 而关键觅食地 (如越冬场) 确定则仅使用 LC 3、LC 2、LC 1 及 LC A 级别的位点。具体参照产卵后母海龟觅食地定义的方法 (Zbinden et al. 2008), 即洄游过程中, 如果停止定向迁徙且持续达 3 d 或以上, 可认定为海龟到达某一觅食地。海龟在某觅食地的活动范围相对局限, 路线呈多向性、折返性或重叠性 (Troëng et al. 2005)。如停留时间 30 d 或以上, 可定义为越冬场或越夏场 (Chan et al. 2007)。使用 Maptool (<http://www.seaturtle.org/maptool>) 制作幼龟的洄游路线及归巢行为成果图 (Coyne et al. 2005, Ng et al. 2018)。按追踪结束时间, 将研究海龟分为冬季组和夏季组, 使用 SPSS 软件 *t*-检验分析组间的背甲曲线长及平均最小洄游速度的差异性, 统计显著性水平设为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

筛选出有效位点 397 个, 其中, LC 3 占

3.5%, LC 2 占 15.1%, LC 1 占 12.6%, LC 0 占 9.3%, LC A 占 21.7%, LC B 占 37.8%。追踪路程平均 $(1\ 653 \pm 1\ 585)$ km, 追踪时间 (66 ± 47) d ($n = 6$)。幼龟背甲曲线长, 冬季组和夏季组分别为 (48.9 ± 8.65) cm ($n = 3$) 与 (59.07 ± 7.64) cm ($n = 3$), 无显著差异 ($t = 1.527$, $df = 4$, $P = 0.202$); 洄游速度, 夏季组 (1.63 ± 0.22) km/h ($n = 3$), 冬季组 (0.67 ± 0.12) km/h ($n = 3$), 夏季组明显较冬季组高 ($t = 6.726$, $df = 4$, $P = 0.003$, 表 2)。

2.1 洄游路线

所监测的 6 只绿海龟个体主要沿我国大陆架 140 m 等深线以内的近岸浅海洄游, 夏、冬季分别往台湾和海南两个方向, 洄游方向与同期季风及表层海流大致趋同。冬季 3 只个体 (53744、52694、40470) 均往海南 (西南方向) 洄游, 夏季 3 只个体 (73040、70464、65415) 均往台湾 (东北方向) 洄游。其中, 春季放归的幼龟 65415 先往海南方向, 抵达广东阳江海陵岛后折返 (台湾方向), 经广东江门的川山群岛对出海域, 经东沙群岛、汕尾龟岛、福建东山岛及台湾海峡 (澎湖列岛) 进入东海海域, 直至信号消失 (图 1)。

2.2 关键觅食地

追踪到的觅食地主要包括越南东部、我国大陆架沿岸及附属海岛, 包括海南东寨港至万宁一带、琼州海峡、湛江东海岛、阳江海陵岛、江门川山群岛、珠海万山群岛和担杆列岛、大亚湾及红海湾近岸及诸岛、东沙群岛、台湾海峡 (福建东山岛、台湾澎湖列岛)、台湾花莲、钓鱼岛北部和福建霞浦至浙江象山沿岸浅海 (图 1)。

冬季组个体 40470 因渔业误捕, 2015 年 2 月 19 日搁浅湛江东海岛沙滩, 经现场确认死亡, 无法进一步确认越冬场。海南东部万宁至文昌一带及越南昏果岛 (Con Co Island) 分别被证实为 53744 及 52694 的越冬场。53744 被追踪到定居时间超过 30 d, 越冬场在海南万宁市港北港至文昌麒麟菜省级自然保护区一带

表 2 广东惠东 6 只幼龟的卫星追踪结果

Table 2 Result of satellite tracking for the six juveniles from Huidong, Guangdong, China

		夏季组 Summer group			冬季组 Winter group		
		73040*	70464*	65415	40470	53744*#	52694
时间 (年-月-日)	起始 Starting	2011-6-21	2011-6-21	2015-3-8	2014-11-27	2011-12-21	2014-11-27
Time (Year-month -date)	终点 Ending	2011-6-23	2011-7-11	2015-6-16	2015-2-19	2012-2-7	2015-3-29
	终点 Destination	汕尾霞洋 Xiayang, Shanwei	台湾花莲 Hualian, Taiwan	福建福鼎 Fuding, Fujian	湛江东海岛 Donghai Island, Zhanjiang	海南文昌 Wenchang, Hainan	越南昏果岛 Con co Island, Vietnam
	追踪天数 Tracking days (d)	2	20	100	84	68	122
	追踪路程 Tracking distance (km)	68	842	4 629	1 603	949	1 829
	平均最小速度 (km/h)	1.38	1.75	1.77	0.80	0.58	0.62
	Average minimum speed						
	LC 3	1	0	10	2	1	0
	LC 2	5	3	22	12	4	14
	LC 1	1	0	20	10	3	16
有效位点数	LC 0	1	1	17	4	4	10
Success location	LC A	1	4	34	17	7	23
	LC B	2	7	73	21	17	30
	总计 Total	11	15	176	66	36	93

叶明彬等 2014 发表数据; * 叶明彬等 2015 发表数据。

Published data in 2014 (Ye et al. 2014); * Published data in 2015 (Ye et al. 2015).

(图 1), 活动区表层水温约 20 ~ 22 °C; 52694 主要活动范围约 5 km, 80% 以上位点聚集在昏果岛北岸及东北岸的一条海底山谷内(靠北坡; 山谷呈东西长、南北短走向)(图 2), 追踪到定居时间 80 d, 活动区水温约 20 ~ 24 °C, 表层海流较缓、流速约 20 ~ 40 cm/s。

3 讨论

3.1 我国幼年绿海龟季节性洄游趋势明显

广东惠东绿海龟产卵后选择在海南东部或琉球群岛等温暖海域越冬 (Song et al. 2001), 香港南丫岛一只绿海龟产卵后也洄游到海南东部(万宁港北港近岸浅海), 被追踪到定居时间超过 1 a, 家域(home range)直径约 8 km (Chan et al. 2003)。出生于美国东海岸、经数年漂流后定居在北卡罗来纳州近岸的幼年绿海龟 (Lutz et al. 1997)、蠓龟 (Bolten et al. 2003), 会在觅食地和越冬地之间季节性洄游, 并通常会表现出明显的季节性定居和归巢行为

(Amlaner et al. 1980, Avens et al. 2003), 定居地家域范围一般较小 (Makowski et al. 2006, Lamont et al. 2015)。

本研究放归幼龟 3 只, 合并文献已报道的 3 只 (叶明彬等 2014, 2015)。冬季 3 只皆往西南方向洄游, 仅越冬期内观察到明显的定居及归巢行为, 主要活动直径约 5 km (图 2); 夏季 3 只皆往东北方向洄游, 停止定向迁徙后活动范围仍较广, 如 65415 幼龟 4 月中旬穿过台湾海峡后, 追踪到其 2 个月内一直在福建霞浦、钓鱼岛北部、浙江象山及福建福鼎一带折返活动, 觅食等行为活跃, 但未观察到明显的定居行为。追踪到的幼年绿海龟活动范围与国内最新海龟资源的野外调查结果基本一致 (牟剑锋等 2013, Ng et al. 2018, 王静等 2019), 进一步证实了我国近海海龟洄游廊道的存在。受追踪时长限制, 本研究虽未直接观察到整个完整的季节性洄游过程。但对于同处亚热带的我国幼龄绿海龟, 根据 Morreale 等 (1992) 及

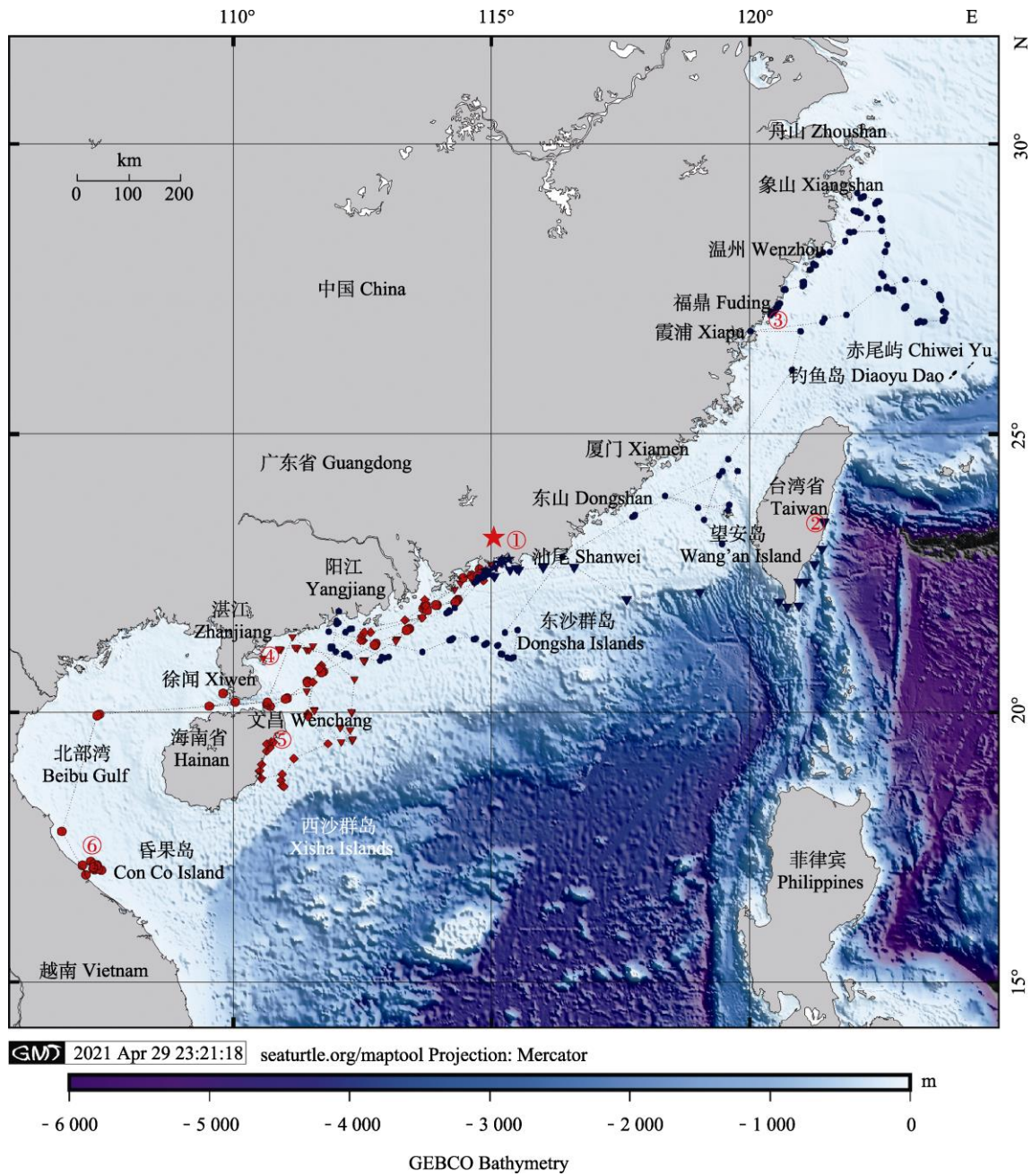


图 1 6 只幼年绿海龟的洄游路线

Fig. 1 Migration routes for the six Juvenile

蓝色和红色路线分别代表追踪终点时间在夏季和冬季的幼年绿海龟洄游路线；① ~ ⑥分别代表编号分别为 73040、70464、65415、40470、53744、52694 幼年绿海龟的终点位置；★为起点，广东惠东海龟国家级自然保护区海龟产卵场沙滩。GEBCO Bathymetry. 海洋大体水深图等深线标尺，不同颜色代表不同的海水深度。

Blue and red routes represent the migratory routes of those juveniles (ID: 73040, 70464, 65415, 40470, 53744, 52694) who arrived their destination in the summer or winter, respectively. ① - ⑥. Destination; ★ Starting site, sea turtles nesting beach of Huidong Nation Sea Turtle Reserve. GEBCO. The general bathymetric chart of the oceans.

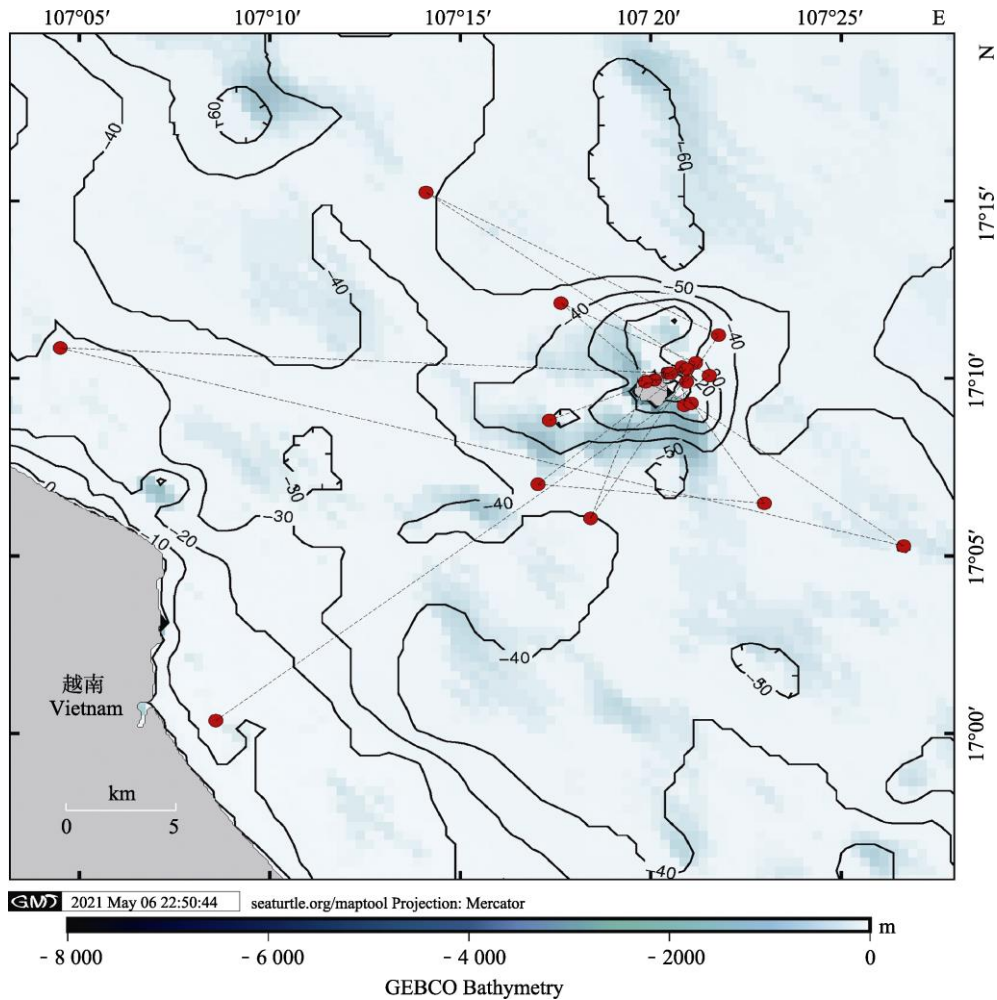


图 2 幼年绿海龟 (52694) 2015 年 1 月 28 日至 2015 年 3 月 29 日
昏果岛越冬定居期间的归巢及觅食行为

Fig. 2 Homing and foraging behavior of the juvenile (52694) resident at the
nearshore of Con Co Island from Jan 8 to Mar 29, 2015

GEBCO Bathymetry. 海洋大体水深图等深线标尺, 不同颜色代表不同的海水深度。黑色实心曲线为海水等深线, 其中标注的数字代表海水水深; 红色实心圆点表示幼龟 52694 的活动位点。

GEBCO. The general bathymetric chart of the oceans. The black solid curves are the ocean isobaths, and the numbers represent the depths of the ocean. The red solids dots represent the activity locations of the juvenile (52694).

Epperly 等 (1995) 发现栖息在美国东海岸北卡罗来纳、弗吉尼亚和纽约等地温带及亚热带地区的幼龄绿海龟及蠓龟通常会季节性洄游, 秋季会往南或西南方向作长途的洄游, 到达南部温暖的海湾或者墨西哥暖流越冬 (Shoop et al. 1992, Keinath 1993, Morreale et al. 1995); 它们准确的地理信息采集、地图绘制、定向洄游

及导航定位能力, 也通过实验室测试得到进一步的证实 (Avens et al. 2004)。浙江至福建一带 (地处亚热带), 海岛及大型海藻资源十分丰富, 但冬季海水水温却偏低, 不适合海龟生长。因此不难推断, 夏季漂流到此觅食的幼年绿海龟, 秋季水温下降后也会往南或西南方向洄游, 到达黑潮暖流 (琉球群岛)、海南岛及越南东部

等温暖海域；待春季水温变暖后，一些幼龟又会像 Byles (1988) 及 Avens 等 (2003) 描述的那样，返回它们之前生活的北部海区。当然，本研究受研究对象在我国极度濒危、人工培育条件及卫星追踪费用昂贵等因素所制约，总体样本量仍然偏少，且气候、海况变幻莫测，惠东幼年绿海龟是否存在更多的洄游路线及行为特征，都有待进一步研究和证实。

3.2 海龟定向洄游的导航机制及忠诚性探讨

幼龟 40470 与 65415 为同一母龟同年所生，虽具有共同单倍型 CmP19.1 (Ng et al. 2017)，但放归后冬、夏季的洄游方向二者迥然相反；40470 与 52694 年龄及母本均不同，但放归后的洄游路线及方向均十分相似。值得注意的是，65415 在春季放归后，先往西南方向到达阳江海陵岛，后改向东北，经东沙群岛、汕尾龟岛、福建东山岛及台湾海峡，夏季一直栖息在台湾以北的东海海域，后期贴近浙江至福建沿岸（或海岛）一带浅海活动，洄游方向改变与季风海流变化的时间节点大体一致。Rahman 等 (2016) 发现印度洋马尔代夫人工培育的 3 只背甲直线长 (straight carapace lengths, SCL) 约 35 cm 幼龄绿海龟，放归后能感知并借助海流迁移；Ng 等 (2017, 2018) 卫星追踪香港海域误捕的幼年绿海龟，绝大部分冬季、夏季也分别顺流往海南和台湾两个方向洄游。都与本研究结果吻合，表明不同区域放归幼年绿海龟的洄游方向都与同期海流大致趋同 (叶明彬等 2015)。

我国夏季盛行西南风、冬季盛行东北季风，近岸海流冬季流往西南、夏季流往东北。成年绿海龟通常 4~9 月上岸产卵，孵化 50~60 d、稚龟下海时间大致在 6~11 月。对刚出生、体重仅 20 g 左右的稚绿海龟实施卫星追踪显然是不切实际的，但与幼龟相比，稚龟个体更小、游泳能力也更弱 (Scott et al. 2014, Rahman et al. 2016)，因此可以大胆推测，我国（含广东惠东、香港南丫岛、西沙群岛、东沙群岛、台湾望安岛和小琉球岛）孵出的稚海龟，夏季下海后大概率往东北方向洄游，到达大型海藻丰富的东

海海域营漂游生活；进入秋冬季，则又会借助海流往南洄游，或选择在黑潮暖流栖息，或继续往西南，抵达海南或越南等地越冬；受强烈而稳定的黑潮暖流影响，台湾兰屿岛出生的稚绿海龟则估计会游往琉球群岛方向漂流。这与 Ng 等 (2017) 通过基因分析得出广东沿岸浅海及东海海域是我国海龟漂流期的主要觅食地的结论是一致的。成年海龟对出生地、觅食地及洄游路线均高度忠诚 (Broderick et al. 2007)，觅食地与出生地距离通常十分遥远 (Griffin et al. 2013)，琉球群岛、澎湖列岛、海南东部和越南白龙尾岛及菲律宾吕宋岛南部浅海是在我国不同区域产卵成年绿海龟的已知长期定居与觅食地 (Chan et al. 2007)。但本研究中，仅越冬期观察到幼年绿海龟的定居行为且活动范围较局限，其他季节则活动范围较大，行为也更活跃，表明幼年绿海龟可塑性较强，具备一定的学习、记忆与适应能力 (Ng et al. 2018, Chambault et al. 2020)，揭示其定位导航以及对出生地的高度忠诚极可能取决于遗传因素，而对觅食地及洄游路线的最终抉择，则更可能与各个体漂游期的洄游经历、觅食地地理位置及食物资源状况等相关 (Scott et al. 2014)。

3.3 成果应用及保护建议

本研究通过卫星遥感技术，揭示了西太平洋地区特定种群幼年绿海龟的洄游规律，查明它们的栖息地分布与大型海藻场、海草床、珊瑚礁及上升流等典型海洋生态系统密切相关，与大西洋及印度洋早期研究的结果吻合 (Carrión-Cortez et al. 2010, Chambault et al. 2020)。绿海龟对出生地高度忠诚，因此对于特定种群（以广东惠东为例），其出生地及其邻近海域决定着回乡产卵的成年绿海龟能否安全栖息、求偶交配与产卵孵化，以及稚海龟孵出后能否顺利下海及索饵洄游，因此无疑是最优先的保护区域。

惠东幼年绿海龟觅食地南至越南东河（昏果岛），北至浙江象山（檀头山），涵盖海南、广东、福建、台湾及浙江多省多处的国家级和

省级海洋自然保护地, 表明它们具备对优越生境识别和选择的能力, 利用它们对越冬场高度忠诚以及季节性定向洄游等特点, 可以确定越冬场、越夏场及洄游廊道等优先保护区域。如本研究确定的越冬地昏果岛, 是一座离岸火山岛, 距越南东河市约 20 km, 面积 2.2 km², 海水清澈透明, 海草床、珊瑚礁等海洋生物资源十分丰富, 是越南著名的海洋自然保护区及旅游潜水目的地, 保护价值极高, 海草床主要分布在该岛的东部及东北部 (Trần et al. 2017)。本研究 52694 幼龟越冬期主要活动范围与海草床的集中分布区高度重叠 (图 2), 揭示海草场生境对绿海龟保护非常关键。海南东部浅海分布有我国最大的海草床 (面积达 54 km²), 仅文昌沿岸就连续分布长达 20 km, 垂直岸线宽约 1.6 km, 面积达 31.8 km² (吴瑞等 2013, 朱志雄等 2017), 优势种为泰来藻 (*Thalassia hemprichii*) (郑凤英等 2013, 陈石泉等 2015); 麒麟菜仅在文昌麒麟菜自然保护区内分布就达 19.4 km² 以上, 优势种为琼枝麒麟菜 (*Betaphycus gelatinae*) (吴钟解等 2016); 琼海、文昌两市毗邻区岸礁连绵 30 km, 活珊瑚覆盖度 31.51%、面积超 100 km², 是海南规模最大、活珊瑚覆盖度最高的礁区 (傅秀梅等 2009, 吴瑞等 2013, 朱志雄等 2017), 吸引了香港南丫岛、台湾望安岛以及广东惠东等地产卵的绿海龟前来越冬或定居 (Chan et al. 2007)。

东海岛屿众多, 有被誉为贝藻类王国的南麂列岛 (敖成齐等 2006, 傅财华等 2011)、大陈岛、洞头列岛 (贾胜华等 2016, 卢周等 2016) 及钓鱼岛等, 夏季大型海藻生长最为旺盛, 优势种主要有瓦氏马尾藻 (*S. vachellianum*)、铜藻 (*S. horneri*)、海萝、羊栖菜、鼠尾藻 (*S. thunbergii*) 等 (孙建璋等 2008, 仇建标等 2012, 毕远新等 2017), 且夏、秋两季盛行“海流-地形类”上升流, 海洋生产力较高 (李纯厚等 2009), 台湾西岸及澎湖列岛等地还发现有海草床分布 (黄小平等 2006, 2010, 郑凤英等

2013), 众多海洋生物在此繁衍生息, 也可为夏季高温期幼年绿海龟觅食和庇护提供理想条件。然而, 人类无序开发已经导致海龟栖息的海草床不断退化 (黄小平等 2006, 郑凤英等 2013, 陈石泉等 2015), 大型海藻生物量及多样性不断减少 (隋玉正等 2013, 杨承虎等 2017), 珊瑚礁资源衰退则更为严重 (傅秀梅等 2009)。本研究及早期相关研究也表明, 绿海龟的活动范围与主要近海渔场及人类开发区域高度重叠, 遭受非法捕捞、渔业误捕及商业贸易等多重威胁 (王静等 2019), 因此, 亟待加强对我国绿海龟及其出生地、越冬场、越夏场及洄游廊道等关键生境的保护和修复。

此外, 本研究证实了我国人工繁育绿海龟放归后具备导航定位、季节性洄游及觅食能力, 放归后可适应自然, 并实质性增加野外种群的数量, 为开展海龟人工繁育、放归及野生种群复壮等提供了新的证据。因海龟是海洋生态的旗舰物种和指示物种 (农业农村部 2019), 本研究还可为我国开展海龟及其相关栖息地的优化整合、相关国家公园 (吴瑞等 2013, 夏涛等 2017) 及保护廊道的规划建设和管理决策提供参考。

致谢 本研究得到广东省野生动物救护中心古河祥研究员、香港渔农自然护理署伍加恩博士和美国国家海洋与大气局 George H. Balazs 教授的大力支持、帮助与指导, 两位审稿专家及编委会对稿件的修改完善提出了宝贵意见, 在此一并致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- Amlaner J, Macdonald D S. 1980. A Handbook for Biotelemetry and Radio Tracking. Oxford: Pergamon Press, 761-764.
- Avens L, Braun-McNeill J, Epperly S, et al. 2003. Site fidelity and homing behavior in juvenile loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*. *Marine Biology*, 143(2): 211-220.
- Avens L, Lohmann K J. 2004. Navigation and seasonal migratory orientation in juvenile sea turtles. *The Journal of Experimental Biology*, 207(11): 1771-1778.

- Bolten A B, Witherington B E. 2003. Loggerhead Sea Turtles. Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 63–92.
- Broderick A C, Coyne M S, Fuller W J, et al. 2007. Fidelity and over-wintering of sea turtles. *Proceedings of The Royal Society B*, 274(1617): 1533–1539.
- Byles R. 1988. Behavior and ecology of sea turtles from Chesapeake Bay, Virginia. Williamsburg, VA, USA: Ph.D. Dissertation College of William and Mary.
- Carr A. 1986. Rips, fads, and little loggerheads. *Bioscience*, 36(2): 92–100.
- Carrián-Cortez J A, Zárate P, Seminoff J A. 2010. Feeding ecology of the green sea turtle (*Chelonia mydas*) in the Galapagos Islands. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90(5): 1005–1013.
- Chambault P, Dalleau M, Jean-Benoît N, et al. 2020. Contrasted habitats and individual plasticity drive the fine scale movements of juvenile green turtles in coastal ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 8(6): 3387–3397.
- Chan S K F, Chan J K, Lo L T, et al. 2003. Satellite Tracking of the post-nesting migration of a Green Turtle (*Chelonia mydas*) from Hong Kong. *Marine Turtle Newsletter*, 102: 1–4.
- Chan S K F, Cheng I J, Zhou T, et al. 2007. A comprehensive overview of the population and conservation status of Sea Turtles in China. *Chelonian Conservation and Biology*, 6(2): 185–198.
- Chen H L, Ye M B, Lu Y Y, et al. 2015. Structure and function of the gastrointestinal tract of the Green Turtle (*Chelonia mydas*) hatchling. *Asian Herpetological Research*, 6(4): 317–330.
- Cheng I J. 2000. Post-nesting migrations of green turtles (*Chelonia mydas*) at Wan-An Island, Penghu Archipelago, Taiwan. *Marine Biology*, 137(4): 747–754.
- Coyne M S, Godley B J. 2005. Satellite tracking and analysis tool: an integrated system for archiving, analyzing and mapping animal tracking data. *Marine Ecology Progress Series*, 301: 1–7
- Da Silva A C C D, dos Santos E A P, das Oliveira F L D C, et al. 2011. Satellite-tracking reveals multiple foraging strategies and threats for Olive ridley turtles in Brazil. *Marine Ecology Progress Series*, 443: 237–247.
- Epperly S P, Braun J, Veishlow A. 1995. Sea turtles in North Carolina waters. *Conservation Biology*, 9: 384–394.
- Griffin D B, Murphy S R, Frick M G, et al. 2013. Foraging habitats and migration corridors utilized by a recovering subpopulation of adult female loggerhead sea turtles: implications for conservation. *Marine Biology*, 160(12): 3071–3086.
- Hays G C, Aeesson S, Godley B J, et al. 2001. The implications of location accuracy for the interpretation of satellite-tracking data. *Animal Behaviour*, 61(5): 1035–1040.
- Keinath J A. 1993. Movements and behavior of wild and head-started sea turtles. Williamsburg, VA, USA: Ph.D. Dissertation. College of William and Mary, 205.
- Lamont M M, Fujisaki I, Stephens B S, et al. 2015. Home range and habitat use of juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) in the northern Gulf of Mexico. *Animal Biotelemetry*, 3(1): 53.
- Lutz P, Musick A. 1997. *The Biology of Sea Turtles*. New York: Coordinating Research Council Press, 137–163.
- Makowski C, Seminoff J A, Salmon M. 2006. Home range and habitat use of juvenile Atlantic green turtles (*Chelonia mydas* L.) on shallow reef habitats in Palm Beach, Florida, USA. *Marine Biology*, 148(5): 1167–1179.
- Morreale S J, Meylan A B, Sadove S S, et al. 1992. Annual occurrence and winter mortality of marine turtles in New York waters. *Journal of Herpetology*, 26: 301–308.
- Morreale S J, Standora E A. 1995. Cumulative evidence of southward migration of juvenile sea turtles from temperate northeastern waters. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-36. Miami, FL: National Marine Fisheries Service.
- Ng C K Y, Dutton P H, Chan S K F, et al. 2014. Characterization and Conservation concerns of Green Turtles (*Chelonia mydas*) nesting in Hongkong, China. *Pacific Science*, 68(2): 231–243.
- Ng C K Y, Dutton P H, Gu H X, et al. 2017. Regional conservation implications of Genetic stock composition for green turtles (*Chelonia mydas*) in China. *Chelonian Conservation and Biology*, 16(2): 139–150.
- Ng C K Y, Gu H X, Li T H, et al. 2018. Insights into identifying habitat hot spots and migratory corridors in the South China region. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 28(5): 1181–1191.
- Rahman R A, Stefox M. 2016. Satellite telemetry of green turtle

- juveniles (*Chelonia mydas*) to determine their movement and survivability in the Indian Ocean. [EB/OL]. [2016-05-29]. <http://researchgate.net/publication/303642557>.
- Scott R, Marsh Robert, Hays G C, et al. 2014. Ontogeny of long distance migration. *Ecology*, 95(10): 2840–2850.
- Seminoff J A, Resendiz A, Nichols W J. 2002. Home range of green turtles (*Chelonia mydas*) at a coastal foraging area in the Gulf of California, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 242: 253–265.
- Shaver D J, Rubio C. 2007. Post-nesting movement of wild and head-started Kemp's ridley sea turtles *Lepidochelys kempii* in the Gulf of Mexico. *Endangered Species Research*, 4(1): 43–55.
- Shoop C R, Kenney R D. 1992. Seasonal distributions and abundances of loggerhead and leatherback Sea Turtles in Waters of the Northeastern United States. *Herpetological Monographs*, 6: 43–67. doi:10.2307/1466961.
- Song X J, Wang H J, Wang W Z, et al. 2001. Satellite tracking of post-nesting movements of green turtles from Gangkou Sea Turtle National Reserve, China. *Marine Turtle Newsletter*, 97: 8–9.
- Trần Đ T, Lê Đ A, Trần Đ L, et al. 2017. TÀI NGUYÊN VỊ THẾ ĐẢO CỎN CỎ, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển, 17(1): 12–22.
- Troňg S, Evans D R, Harrison E, et al. 2005. Migration of green turtles *Chelonia mydas* from Tortuguero, Costa Rica. *Marine Biology*, 148(2): 435–447.
- Wang W Z, Wang D X, Wang H J, et al. 2002. Satellite tracking of post-nesting migration of Green Turtles. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 16(2): 102–105.
- Ye M B, Chen H L, Li M W, et al. 2020. Observations on the Courtship and mating behavior of captive green turtles (*Chelonia mydas*). *Herpetological Conservation and Biology*, 15(2): 284–292.
- Zbinden J A, Aebischer A, Margaritoulis D, et al. 2008. Important areas at sea for adult loggerhead sea turtles in the Mediterranean Sea: satellite tracking corroborates findings from potentially biased sources. *Marine Biology*, 153(5): 899–906.
- 敖成齐, 周宗雷, 徐福珍, 等. 2006. 浙江温州地区的海产大型藻类. *国土与自然资源研究*, 3: 84–86.
- 毕远新, 张亚洲, 丰美萍, 等. 2017. 渔山列岛海藻场空间分布格局及成因分析. *浙江海洋大学学报: 自然科学版*, 36(5): 373–378.
- 陈华灵, 叶明彬, 林日锦, 等. 2007. 海龟卵人工移植试验. *四川动物*, 26(2): 456–457.
- 陈石泉, 王道儒, 吴钟解, 等. 2015. 海南岛东海岸海草床近 10a 变化趋势探讨. *海洋环境科学*, 34(1): 48–53.
- 陈天然, 余克服, 施祺, 等. 2007. 广东大亚湾石珊瑚群落的分布及动态变化. *热带地理*, 27(6): 493–498.
- 仇建标, 彭欣, 谢起浪, 等. 2012. 洞头列岛潮间带大型底栖生物的时空分布及其多样性. *水产学报*, 36(4): 608–614.
- 丁兰平, 黄冰心, 谢艳齐. 2011. 中国大型海藻的研究现状及其存在的问题. *生物多样性*, 19(6): 798–804.
- 傅财华, 蒋霞敏, 毛欣欣, 等. 2011. 南麂列岛大柴屿潮间带底栖海藻分布特征. *宁波大学学报: 理工版*, 24(2): 25–30.
- 傅秀梅, 王长云, 邵长伦, 等. 2009. 中国珊瑚礁资源状况及其药用研究调查 I. 珊瑚礁资源与生态功能. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 39(4): 676–684.
- 古河祥, 夏中荣, 李丕鹏, 等. 2010. 绿海龟稚龟性别鉴定及临界温度. *动物学杂志*, 45(4): 81–88.
- 黄小平, 黄良民, 李颖虹, 等. 2006. 华南沿海主要海草床及其生境威胁. *科学通报*, 51(增刊 2): 114–119.
- 黄小平, 江志坚, 张景平, 等. 2010. 广东沿海新发现的海草床. *热带海洋学报*, 29(1): 132–135.
- 贾胜华, 曾江宁, 廖一波, 等. 2016. 洞头列岛及邻近海域大型底栖动物群落结构的研究. *海洋学研究*, 34(2): 83–92.
- 蒋福康, 李庆欣, 林坚士. 1996. 大亚湾的马尾藻资源研究. *热带海洋*, 15(1): 85–90.
- 李纯厚, 贾晓平, 孙典荣, 等. 2009. 南澎列岛海洋生态及生物多样性. 北京: 海洋出版社, 56–60.
- 卢周, 陆京明, 周化斌, 等. 2016. 洞头南北升山海洋特别保护区潮间带大型底栖生物群落的时空分布. *温州大学学报: 自然科学版*, 37(3): 38–48.
- 牟剑锋, 陶翠花, 丁晓辉, 等. 2013. 中国沿岸海域海龟的种类和分布的初步调查. *应用海洋学学报*, 32(2): 238–242+294.
- 农业农村部. 2019. 海龟保护行动计划(2019-2033). [EB/OL]. [2019-01-02]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2019/201901/201905/t20190503_6288226.htm
- 隋玉正, 李淑娟, 张绪良, 等. 2013. 围填海造陆引起的海岛周围海域海洋生态系统服务价值损失——以浙江省洞头县为例. *海洋科学*, 37(9): 90–96.

- 孙建璋, 陈万东, 庄定根, 等. 2008. 中国南麂列岛铜藻 *Sargassum horneri* 实地生态学的初步研究. 南方水产, 4(3): 58–63.
- 王静, 郭睿, 杨袁筱月, 等. 2019. 中国海龟受威胁现状和保护建议. 野生动物学报, 40(4): 1070–1082.
- 王亚民. 1993. 我国南海海龟资源的调查与保护研究现状与展望. 生态学杂志, 12(6): 60–61.
- 吴进锋, 张汉华, 梁超愉, 等. 2002. 红海湾海藻资源的研究. 湛江海洋大学学报, 22(1): 30–33.
- 吴瑞, 王道儒. 2013. 海南岛东海岸生态经济区建设构想. 海洋开发与管理, 30(5): 43–47.
- 吴钟解, 陈石泉, 张光星, 等. 2016. 海南省麒麟菜自然保护区麒麟菜资源研究. 海洋环境科学, 35(2): 221–225+242.
- 夏涛, 陈尚, 郝林华, 等. 2017. 海洋国家公园建设优先区研究. 环境保护, 45(14): 34–38.
- 杨承虎, 蔡景波, 张鹏, 等. 2017. 南麂列岛大型海藻重金属元素含量特征分析. 海洋环境科学, 36(3): 372–378+384.
- 叶明彬, 陈华灵, 端金霞, 等. 2014. 人工养殖绿海龟的卫星追踪初报. 海洋与渔业, 9: 74–76.
- 叶明彬, 陈华灵, 冯国清, 等. 2020. 绿海龟源溶藻弧菌的分离鉴定及药敏分析. 广东农业科学, 47(6): 97–105.
- 叶明彬, 陈华灵, 古河祥, 等. 2015. 人工培育幼年绿海龟的卫星追踪试验. 四川动物, 34(1): 15–20.
- 叶明彬, 古河祥, 陈华灵, 等. 2004. 有益微生物(EM)在绿海龟稚龟培育中的应用. 中国水产, 6: 51–52.
- 张晓荣, 梁玉麟. 1993. 南海海龟资源现状及孵化养殖技术初步研究. 湛江水产学院学报, 13(1): 41–48.
- 郑凤英, 邱广龙, 范航清, 等. 2013. 中国海草的多样性、分布及保护. 生物多样性, 21(5): 517–526.
- 朱志雄, 马坤, 方彰胜, 等. 2017. 海南省麒麟菜自然保护区海草资源分布及保护建议. 广东农业科学, 44(4): 90–98.