

西沙群岛七连屿绿海龟 (*Chelonia mydas*) 产卵场海滩垃圾调查

张婷 林柳* 蹇丽 王钊 孔俐 汪继超 史海涛*

(热带岛屿生态学教育部重点实验室, 海南师范大学生命科学院, 海口 571158)

摘要 产卵场的海滩垃圾是海龟筑巢和孵化的主要威胁之一。西沙群岛七连屿是中国绿海龟 (*Chelonia mydas*) 现存最大的产卵场, 虽然远离大陆, 人口稀少, 相对隔绝, 但污染依然不容忽视。本研究采用样方法对七连屿绿海龟产卵的 6 个岛屿进行海滩垃圾调查。结果表明: 七连屿绿海龟产卵场的海滩垃圾类型主要有塑料、金属、玻璃等, 其中以塑料垃圾最多, 数量占比 82.04%, 质量占比 45.98%; 海滩垃圾的平均数量密度为 $0.38 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 平均质量密度为 $7.66 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$; 相比其他海龟产卵场, 七连屿海滩垃圾的平均数量密度处于较低水平, 但塑料垃圾占比较高; 海滩垃圾以生活用品类最多, 数量占比 74.33%, 其次为航运/捕鱼活动残留, 数量占比 9.11%; 通过识别塑料垃圾上的文字, 调查到的垃圾来源于国外的垃圾占比高达 82.02%, 以越南、马来西亚等东南亚国家为主, 占国外垃圾的 96.3%。建议进一步加强七连屿海龟产卵场的海滩垃圾减排和清理, 同时加强南海的区域合作, 共同促进海洋垃圾的治理。

关键词 七连屿; 绿海龟; 产卵场; 垃圾

Investigation of beach debris at spawning ground of Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*) at Qilianyu Islands, Northeastern Xisha Islands. ZHANG Ting, LIN Liu*, JIAN Li, WANG Zhao, KONG Li, WANG Jichao, SHI Haitao* (Ministry of Education Key Laboratory for Ecology of Tropical Islands, College of Life Sciences, Hainan Normal University, Haikou 571158, China).

Abstract: Beach debris at spawning grounds is a major threat to the nesting and hatching of sea turtle. The Qilianyu Islands, a subgroup of islands in the northeastern part of the Xisha Islands, is the largest spawning ground for green sea turtles (*Chelonia mydas*) in China. Although this site is far from the mainland and relatively isolated with a small human population, pollution could not be ignored. We surveyed beach debris in and around the spawning ground of *C. mydas* on six islands of Qilianyu. We found that the beach debris consisted of plastic, metals and glass, with plastic being the dominant type, accounting for 82.07% in number and 45.98% in mass. The average number density of beach debris was $0.38 \text{ pieces} \cdot \text{m}^{-2}$, and the average mass density was $7.66 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$. Compared with other spawning grounds, the average density of beach debris here was lower, but with higher proportion of plastic debris. After categorizing the type of debris, we found that most debris was from household goods (74.33%), followed by that from shipping/fishing activities (9.11%). Based on the words on the plastic debris, we inferred that the geographic source was primarily from abroad (82.02%), mainly from Southeast Asian countries, such as Vietnam and Malaysia, accounting for 96.3% of foreign debris. To better protect this important spawning ground, we recommend strengthening beach debris reduction and cleanup at Qilianyu, with much stronger regional cooperation.

Key words: Qilianyu Islands; *Chelonia mydas*; spawning ground; debris.

海南省自然科学基金(319MS048)、国家自然科学基金(31772486和31960101)和海南省研究生创新科研课题(Hys2018-231)资助。

收稿日期: 2019-12-10 接受日期: 2020-04-10

* 通讯作者 E-mail: haitao-shi@263.net; kylelinliu@qq.com

海龟起源于古生代末期的二叠纪,是古老的大型海洋爬行动物,生活于地球已有1.5亿多年(Li *et al.* 2008)。作为海洋旗舰物种之一,海龟对海洋生态系统的健康维持至关重要,也是海洋环境监测的重要指示物种(Bouchard *et al.* 2000; Hamann *et al.* 2010)。但由于长期的滥捕滥杀、非法贸易、过度开发以及海洋污染等人为因素和气候变化的威胁,全球海龟种群数量和分布范围均锐减(Chan *et al.* 2007; Hawkes *et al.* 2009; Lam *et al.* 2011),目前所有海龟都已被列入《濒危野生动植物国际贸易公约》(CITES公约)附录I和中国国家二级重点保护野生动物名录。

海洋垃圾是威胁海龟生存的一个重要因素。海洋垃圾不仅影响海龟在海洋中的生存,而且影响海龟在岸上的产卵和孵化过程(Zavaleta-Lizárraga *et al.* 2013),其对海龟健康和繁殖的影响已成为全球海龟保护的热点问题(Laist, 1997; Hamann *et al.* 2010)。误食海洋垃圾和被垃圾缠绕而导致海龟受伤、搁浅和死亡的情况时有发生(Laist, 1997; Schuyler *et al.* 2014)。海龟对出生地高度忠诚,因此产卵场的环境质量对海龟的成功繁衍至关重要(Triessnig *et al.* 2012; Burger *et al.* 2014)。产卵场海滩垃圾不仅会干扰雌海龟的筑巢活动和巢址选择,导致筑巢失败或改变巢穴分布格局(Hays *et al.* 1993; Laurence *et al.* 2008; Bourgeois *et al.* 2009; Witherington *et al.* 2011),而且也会阻碍刚孵化幼龟向大海爬行,加剧被捕食风险(Tomillo *et al.* 2010; Triessnig *et al.* 2012; Burger *et al.* 2014)。此外,海洋垃圾富集可改变巢穴内孵化温度,从而改变海龟性别比例,影响海龟种群结构(Carson *et al.* 2011)。

近几年,国际上针对海龟产卵场海滩垃圾对海龟影响的研究逐年增加,主要围绕产卵场海滩垃圾种类和分布(Martin *et al.* 2019),海滩垃圾对海龟筑巢和孵化的影响(Hays *et al.* 1993; Triessnig *et al.* 2012),垃圾来源分析和推测(Sul *et al.* 2011),以及海滩垃圾治理建议(Fujisaki *et al.* 2016)等多方面开展研究。因此,海洋垃圾已成为海龟产卵场生境质量评估的一个重要指标(Triessnig *et al.* 2012)。而国内虽然在海洋垃圾污染现状与来源(赵肖等,2016;莫珍妮等,2018)、分布与危害后果(韩梦迪等,2016)等方面展开了一些研究,但尚无针对海龟等海洋野生动物关键栖息地内海洋垃圾污染的研究。

我国海龟种群资源的90%分布在南海地区,其中绿海龟(*Chelonia mydas*)数量占我国海龟种群数量的80%以上(梁玉麟等,1990;王亚民,1993)。南海的西沙群岛是中国现存最大的绿海龟产卵场,由于远离大陆,人口密度低,开发程度低,是海龟产卵的最后一片净土,连续4年(2016—2019年)每年记录有100窝以上的绿海龟卵(王静等,2019; Jia *et al.* 2019),对我国海龟资源的保护具有至关重要的作用。本研究对西沙群岛七连屿绿海龟筑巢的岛屿进行海滩垃圾定量调查,对该地区垃圾类别和密度进行分析,对海滩垃圾污染的来源进行探讨,以为当地绿海龟栖息地管理、保护及海滩整治提供基础信息及参考依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地概况

七连屿(16°55′N—17°00′N, 112°12′E—112°21′E)位于我国南海宣德群岛东北部,由西沙洲、赵述岛、北岛、中岛、三峙仔、南岛、北沙洲、中沙洲、南沙洲、西新沙洲等10座小岛依次由西向东排列形成,各小岛间由暗礁相连,总面积约为1.32 km²,其中北岛面积最大,约0.4 km²。除赵述岛、西沙洲和北岛外,其他岛屿都无人居住,目前常住人口超200人,主要集中在赵述岛。赵述岛是七连屿工作委员会和管理委员会驻地所在,也是近年来七连屿唯一没有海龟产卵记录的岛屿(图1)。

1.2 调查方法

本研究于2019年5月(绿海龟筑巢开始期)和7月(绿海龟筑巢高峰期)进行了两次海滩垃圾调

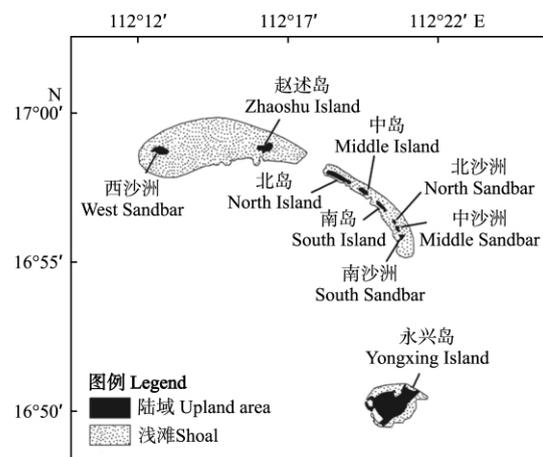


图1 中国南海宣德群岛七连屿群
Fig.1 The Qilianyu cluster of Xuande Islands, South China Sea, China

查。由于西沙洲登岛不方便,我们选择在七连屿的北岛、中岛、南岛、北沙洲、中沙洲和南沙洲等6个有绿海龟筑巢的岛屿调查。将每个岛屿分别作为一个样点,每个样点随机选取3个样方(样方间间隔 ≥ 100 m),每个样方垂直划分4个样带(100 m \times 1 m),第一个样带为高潮线,第四个为植被线,在高潮线和植被线之间设置第二和第三样带(样带间的距离为4~14 m,由海滩宽度来划分)。对每个样带海滩表面可见垃圾进行收集、分类、称重,并统计数量(Triessnig *et al.*, 2012)。由于七连屿有渔民定期清理各岛屿的海滩垃圾,故两次调查取样时间均为垃圾清理的前一天。其中在北岛增加了垃圾清理后的二次调查,用以比较清理前后海滩垃圾的变化。

垃圾碎片密度(D ,单位个或 $g \cdot m^{-2}$)的计算方法如下:

$$D = n/S$$

式中: n 为被统计垃圾碎片的数量或重量总和(个或 g); S 为调查样方的面积(m^2)(韩孟迪等,2016)。经 T 检验,5月和7月两次调查垃圾数量无显著性差异,因此在数据分析时取两次调查的平均值。

按材料类型将垃圾分为:塑料类、金属类、玻璃类、渔线/渔网类、纸和木制品类及其他人造物品类(Martin *et al.*, 2019);按尺寸大小,将直径为1~10 cm的垃圾定义为小垃圾,直径 >10 cm的定义为大垃圾(Claereboudt, 2004)。

海滩垃圾来源采用《西北太平洋组织》(NOWPAP)的调查统计方法,按人类海岸活动、航运/捕鱼活动、吸烟用品、医疗/卫生用品、其他废弃物等五大类进行统计分析(国峰等,2014;莫珍妮等,2018)。对有文字的塑料垃圾,我们通过辨别包装上的产地信息,确定垃圾来源国家(Sul *et al.*, 2011)。

为比较七连屿地区海滩垃圾与海龟巢穴分布,

我们同时记录所调查6个岛屿上2017年6月—2018年10月期间的绿海龟巢穴数量,并记录北岛上海龟巢穴的GPS位点信息,利用GIS软件绘制巢穴分布图。

1.3 数据处理

使用Excel和SPSS 16.0统计学软件进行统计学分析。所有数据在统计分析前,经过正态分布和方差齐性检验。采用单因素方差法对各岛屿垃圾密度差异进行分析,文中相关数据以平均值 \pm 标准差(Mean \pm SD)表示, $P < 0.05$ 为差异显著(双尾检验)。

2 结果与分析

2.1 七连屿绿海龟产卵场海滩垃圾的组成及数量

本研究在6个岛屿收集各类海滩垃圾共计1364块,平均数量密度为0.38块 $\cdot m^{-2}$,平均质量密度为7.66 $g \cdot m^{-2}$,其中塑料类为最主要的海滩垃圾,数量占比(82.04%)和质量占比(45.98%)均为最高,其次为渔线/渔网类和玻璃类垃圾(表1)。与4个国外的海龟产卵场相比,七连屿的海滩垃圾密度最低,但塑料垃圾所占比例很高,与美国、巴西、土耳其等地海龟产卵场的近期调查结果相似,但远高于1998年澳大利亚北部雾湾的调查结果(表2)。

北岛的海滩垃圾数量在清理前后两次调查比较发现,经过全岛清理,大型垃圾的整体数量减少了77.55%,清理效果良好。但小型垃圾清理效果不理想,其中瓶盖、吸管等塑料类垃圾仅减少15.72%,清理后仍然有大量小型塑料垃圾残留于海滩(图2)。

2.2 七连屿绿海龟产卵场海龟巢穴与海滩垃圾分布特征

2017年6月—2018年10月,这6个岛屿共记录有绿海龟巢穴284个,其中北岛是绿海龟产卵巢穴数量最多的岛屿,占总数的60.21%,其次为南岛和南沙洲。海滩垃圾在这6个岛屿的分布整体呈现

表1 七连屿绿海龟产卵场海滩垃圾组成及存在量统计

Table 1 Statistics on the composition and quantity of debris on green sea turtles' spawning ground at Qilianyu

垃圾组分类型 Debris composition type	N (个)	所占比例 Proportion(%)		平均数量密度 Average quantity density (piece $\cdot m^{-2}$)	平均质量密度 Average mass density ($g \cdot m^{-2}$)
		数量 Quantity	质量 Mass		
塑料类 Plastics	1119	82.04	45.98	0.311	3.522
渔线/渔网类 Fishing lines/nets	114	8.36	4.48	0.032	0.343
玻璃类 Glass	108	7.92	43.92	0.030	3.364
金属类 Metal	12	0.88	2.18	0.003	0.167
纸和木制品类 Paper & Wood products	7	0.51	2.03	0.002	0.156
其他人造物品类 Other artificial products	4	0.29	1.41	0.001	0.108
合计 Total	1364	100	100	0.379	7.659

表 2 与国外海龟产卵场海滩垃圾调查结果比较

Table 2 Comparison of the debris status with other sea turtles' spawning grounds from different areas

国家 Country	海龟产卵场 Sea turtles' nesting sites	垃圾数量密度 Debris quantity density (piece · m ⁻²)	塑料类所占 垃圾总数比例 Percentage of plastic debris (%)	塑料类数量密度 Quantity density of plastics (piece · m ⁻²)	参考文献 Reference
中国 China	南中国海七连屿 Qilianyu, South China Sea, China	0.38	82.04	0.31	本研究 In this study
美国 America	美国乔治亚州哲基尔岛 Jekyll Island, Georgia, USA	-	85	-	(Martin <i>et al.</i> , 2019)
巴西 Brazil	巴西东北部海龟保护区 Sea Turtle Conservation Area in NE Brazil	2.9	74	2.14	(Sul <i>et al.</i> , 2011)
澳大利亚 Australia	澳大利亚北部雾湾 Fog Bay, Northern Australia	-	36.4	-	(Whiting, 1998)
土耳其 Turkey	地中海土耳其东部 Northeastern Levantine coasts of Turkey	25.11	77.65	19.5	(Sedat <i>et al.</i> , 2019)

“-”表示文献中未提到

It is not mentioned in the literature

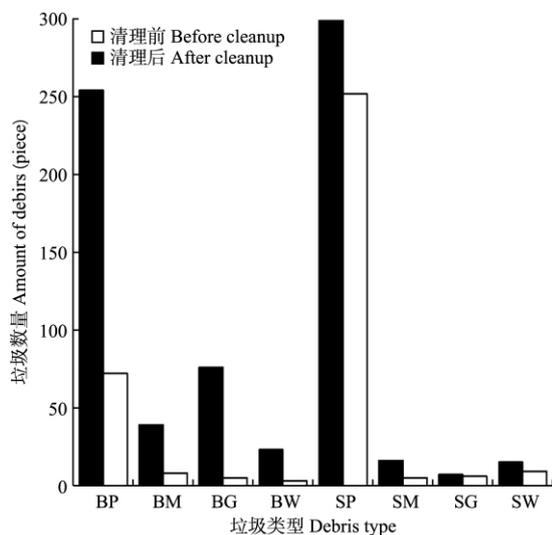


图 2 清理前和清理后垃圾数量比较

Fig.2 Comparison of debris quantity before and after cleanup

注: B: 大型垃圾; S: 小型垃圾; P: 塑料类; M: 金属类; G: 玻璃类; W: 纸和木制品类。

Note: B: Large debris; S: Small debris; P: Plastics; M: Metal; G: Glass; W: Wood products.

西部多东部少的趋势,其中北岛的海滩垃圾密度最大,中岛其次,且北岛的垃圾密度显著高于其他 5 个岛屿 ($F=4.098, P=0.012$) (表 3)。

在北岛共记录到 109 个海龟巢穴的 GPS 位点,分布图显示巢穴位点主要集中于北岛的西北角海滩,然而垃圾样方调查发现该处的垃圾密度也显著高于其他两处样方 ($F=6.473, P=0.018$) (图 3),说明北岛上海龟巢穴最集中的区域与海滩垃圾聚集区高度重合。

2.3 七连屿绿海龟产卵场海滩垃圾来源及产地

海滩垃圾来源分类表明,七连屿绿海龟产卵场

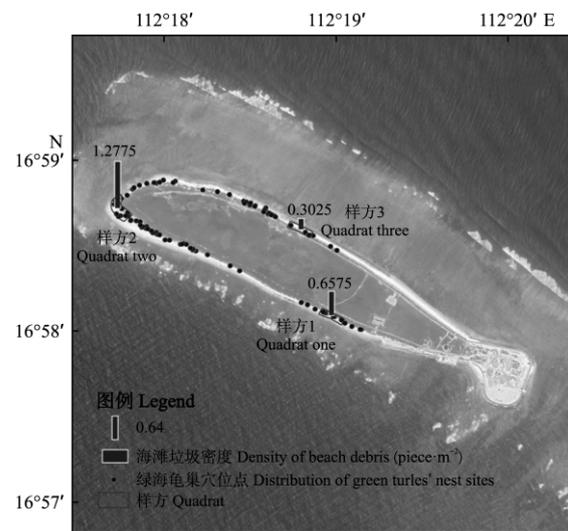


图 3 北岛绿海龟巢穴位点及三个垃圾调查样方分布图

Fig.3 Distribution of green sea turtles' nest sites and three debris quadrats in North Island

的海滩垃圾主要来自人类陆地活动产生的海洋垃圾,包括人类海岸带活动、吸烟、医疗卫生及其他废弃物等居民生产生活垃圾,合计占比约为 91%,其余为海上航运/捕鱼活动产生的垃圾(表 4)。

由于七连屿的生活垃圾已实现集中处理,因此所调查岛屿上的海滩垃圾均是随海浪冲上岸后留下的。根据调查收集的塑料垃圾外包装上的产地信息区分国内和国外来源,结果表明 17.98% ($n=96$) 的塑料垃圾来自国内,82.02% ($n=438$) 来自国外,其中国外垃圾的 96.3% 来源于越南、马来西亚等东南亚国家(表 5)。

3 讨论

七连屿的海滩垃圾密度与国外海龟产卵场相比

表 3 七连屿各岛屿绿海龟巢穴数量(2017–2018 年)与海滩垃圾数量密度分布特征

Table 3 Distribution characteristics of green turtles' nests (2017–2018) and debris on each island of Qilianyuan

岛屿 Islands	巢穴数量 Number of nests	海滩垃圾密度 Density of beach debris (piece · m ⁻²)	塑料类 Plastic (piece · m ⁻²)	金属类 Metal (piece · m ⁻²)	玻璃类 Glass (piece · m ⁻²)	渔线/渔网类 Fishing lines/ nets (piece · m ⁻²)	纸和木制品类 Paper & Wood Products (piece · m ⁻²)	其他人造物品类 Other artificial products (piece · m ⁻²)
北岛 North Island	171	0.746±0.197 a	0.559±0.098 a	0.009±0.010 a	0.105±0.053 a	0.065±0.064 a	0.007±0.009 a	0.001±0.002 a
中岛 Middle Island	14	0.438±0.296 b	0.382±0.264 ab	0.006±0.004 a	0.011±0.008 b	0.034±0.043 a	0 a	0.006±0.007 a
南岛 South Island	50	0.297±0.086 b	0.253±0.056 b	0.003±0.005 a	0.014±0.011 b	0.024±0.021 a	0 a	0.003±0.005 a
北沙洲 North Sandbar	5	0.222±0.153 b	0.173±0.107 b	0.001±0.002 a	0.013±0.014 b	0.033±0.033 a	0.002±0.003 a	0 a
中沙洲 Middle Sandbar	14	0.283±0.176 b	0.233±0.135 b	0 a	0.019±0.023 b	0.031±0.025 a	0.001±0.002 a	0 a
南沙洲 South Sandbar	30	0.295±0.172 b	0.261±0.156 b	0 a	0.018±0.016 b	0.015±0.008 a	0.001±0.002 a	0.001±0.002 a

注: 同一列中不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。Note: Values with different lowercase letters in the same columns are significantly different at $P<0.05$.

表 4 海滩垃圾来源分类统计

Table 4 Classification statistics of beach debris sources

垃圾来源 Sources of debris	垃圾种类 Category	垃圾数量(个) Amount of debris	所占比例 Proportion (%)
人类海岸活动 Human coastal activity	塑料瓶、快餐盒、饮料罐、塑料袋等 Plastic bottles, Fast food boxes, Beverage cans, Plastic bags, etc	2024	74.33
吸烟用品 Smoking supplies	烟头、烟盒、打火机等 Cigarette butts, Cigarette packs, Lighters, etc	205	7.53
医疗/卫生用品 Medical/Hygiene products	注射器、废弃药瓶、卫生巾、尿布等 Syringes, Discarded medicine bottles, Sanitary napkins, Diapers, etc	37	1.36
其他弃置物 Other wastes	轮胎、荧光灯管、窗纱、电线、灯泡、玻璃等 Tires, Fluorescent tubes, Window screens, Wires, Light bulbs, Glass, etc	209	7.68
航运/捕鱼活动 Shipping/Fishing activities	废弃渔网及碎片、鱼线、浮漂等 Discarded fishing nets and debris, Fishing lines, Floats, etc	248	9.11

表 5 海滩塑料垃圾国内外来源统计

Table 5 Statistics of domestic and foreign sources of beach plastic debris

垃圾来源 Sources of debris	国家 Country	垃圾数量(个) Amount of debris (n)	所占比例 Proportion (%)
国内 Qomestic	中国 China	96	17.98
国外 Foreign country	越南、马来西亚 Vietnam, Malaysia	422(96.3%)	82.02
	其他国家 Other countries	16(3.7%)	
合计 Total		534	100.00

最低, 应与其远离我国大陆且人口稀少有关, 也得益于当地政府部门组织居民定期清理海滩垃圾。但七连屿的海滩垃圾中塑料类占比很高, 应与近年来全球海洋塑料垃圾剧增直接相关。1950 年至 2017 年, 全球塑料制品从 150 万吨增加到 3.55 亿吨 (PlasticEurope 2016), 海洋中塑料垃圾的数量和污染程度均不断增加 (Jambeck *et al.*, 2015; Nelms *et al.*, 2016; Lebreton *et al.*, 2018)。北岛的海滩垃圾在 6 个岛屿中数量最多, 密度最大, 应与洋流方向和北岛的位置有关。南海在夏季盛行西南季风, 而洋流

受季风左右 (叶锦昭, 1996), 因此在我们的调查期间 (5—7 月) 海洋垃圾随西南季风和洋流影响主要从西南方向漂至七连屿, 而北岛位于这 6 个岛屿的最西侧, 且岛形狭长 (达 1500 m), 呈西北-东南走向, 从而拦截了最多的海洋垃圾。

产卵场的生境质量决定海龟的产卵和孵化成败 (Triessnig *et al.*, 2012; Burger *et al.*, 2014)。松软多孔的沙子是海龟成功筑巢和孵化的必要条件 (Mortimer, 1990), 有植被覆盖以及无人干扰的沙滩是绿海龟筑巢的首选 (Bustard, 1972; Mortimer, 1982)。位于北岛西侧的赵述岛, 历史上曾经有海龟产卵记录, 但由于岛上常驻人口和工程建设增多, 近年来已无海龟上岸产卵。目前北岛的西北部沙滩是绿海龟最重要的产卵场, 应该由于此处的沙滩面积最大, 植被良好且距离北岛东侧居民点最远。但该处也正是北岛海滩垃圾密度最高的区域, 而我们在实地调查中发现海龟巢穴内挖出的沙土中常常含有大量塑料瓶, 以及刚出巢小海龟被塑料渔网缠绕等现象, 说明绿海龟在北岛的筑巢和出巢行为已经受到海滩垃圾的干扰 (图 4)。

定期清除海滩垃圾是改善海龟产卵栖息地的一



图4 七连屿绿海龟巢穴内垃圾

Fig.4 Debris in the nests of green turtle at Qianlianyu

注: A. 七连屿北岛绿海龟筑巢时挖出的塑料垃圾, B. 小海龟被渔网缠绕导致无法爬出巢穴。

Note: A. plastic trash dig out by green turtle nesting on the North Island of Qianlianyu, B. the baby turtle was entangled by fishing net and trapped inside its nest

种有效策略(Fujisaki *et al.*, 2016),但当前世界各地的海滩垃圾清理多关注大型垃圾的清理而忽视小型垃圾清理,尤其残留大量瓶盖、吸管等小型塑料制品(Santos *et al.*, 2005b; Costa *et al.*, 2010),而这些小型垃圾最可能会被海龟、海鸟等海洋动物摄取,给它们带来严重的健康和生命威胁(Thompson *et al.*, 2004; Sul *et al.*, 2011; Zhu *et al.*, 2019)。此外,小型塑料垃圾还会进一步分解成更小的颗粒即微塑料,威胁双壳贝类等多种海洋生物的健康(Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012; 杜静等, 2018),而海龟巢穴内微塑料污染还会对卵的孵化成功率和性别比率产生不利影响(Duncan *et al.*, 2018)。目前七连屿的海滩垃圾清理主要针对大垃圾,通过清除海滩垃圾方式已将大垃圾整体数量控制在较低水平,但小型垃圾清理效果还有待提高。因此,我们建议当地管理部门应加强七连屿的海滩垃圾清理工作,尤其是在繁殖高峰期和垃圾聚集区加大清理力度和频率,由每周一次的垃圾清理频率增加到每周2~3次,以降低海洋垃圾对绿海龟筑巢和孵化的干扰,同时应重视小型垃圾的清理,后续还应针对产卵场的微塑料污染进行系统调查,以便为海龟栖息地评价和管理提供科学建议。

七连屿海龟产卵场的海滩塑料垃圾主要来自越南、马来西亚等东南亚国家人类活动产生的生活垃圾,很可能是由于这些垃圾进入南海后在夏季西南季风和洋流的作用下输送至此。因此,七连屿海龟产卵场的海滩垃圾污染不能仅靠当地的定期清理解决,而是应该加强区域合作,从源头加大海洋垃圾管理,减少海洋垃圾生成和排放量。南海是东南亚的

一个边缘海,周边是中国、菲律宾、马来西亚、文莱、印度尼西亚、新加坡和越南等许多发展中国家,已成为世界上人口最密集、经济最具活力的地区之一。由于快速的城市化和工业化,这些国家产生的垃圾被认为是南海海洋垃圾的主要来源(Zhu *et al.*, 2019)。各国应加强在海洋环境保护层面的全球性与区域性的合作,严格遵守《联合国海洋法公约》,减少陆上垃圾的产生,尽到保护和保全海洋环境的义务;在海洋遭受污染后各国应与国际组织积极合作,制定应急计划并交流和研究方案,制订合理适当的应对措施等,同时积极开展海洋环境宣传和教育,提高公众环境意识(Sul *et al.*, 2011; 戴瑛等, 2018)。

致谢 本研究得到了海南省三沙市政府、七连屿工委和三沙市海洋综合行政执法局的大力支持;在野外工作和生活中得到七连屿北岛黄宏波、黄程、黄锐、符永浪等的帮助;香港岭南大学的Jonathan J. Fong帮助修改英文摘要。

参考文献

- 戴 瑛,周景行. 2018. 全球海洋环境治理的挑战与思考. 海洋经济, 8(5): 58-65. [Dai Y, Zou JX. 2018. Challenges and reflections on global Marine environmental governance. *Marine Economy*, 8(5): 58-65.]
- 杜 静,于明曦,宋广军,等. 2018. 基于双壳贝类指示的海洋微塑料污染监测与毒理学研究进展. 生态学杂志, 37(7): 2205-2212. [Du J, Yu MX, Song GJ, *et al.* 2018. Research advances on monitoring and toxicology of microplastic pollution in marine as indicated by bivalves. *Chinese Journal of Ecology*, 37(7): 2205-2212.]
- 国 峰,李志恩,秦玉涛,等. 2014. 上海市海洋垃圾分布、

- 组成与来源分析. 海洋开发与管理, **31**(9): 110–113. [Guo F, Li ZE, Qin YT, et al. 2014. Distribution, composition and source analysis of marine garbage in Shanghai. *Marine Development and Management*, **31**(9): 110–113.]
- 韩孟迪, 赵开远, 张燕, 等. 2016. 大连黑石礁海滩垃圾污染调查与综合评价. 环境保护与循环经济, (8): 72–72. [Han MD, Zhao KY, Zhang Y, et al. 2016. Investigation and comprehensive evaluation of garbage pollution on the Heishi Reef in Dalian. *Environmental Protection and Circular Economy*, (8): 72–72.]
- 梁玉麟, 张晓荣, 林日锦. 1990. 南海海龟资源调查与孵化养殖技术研究. 农业部水产司立项项目(课题编号: 8607–7). [Liang YL, Zhang XR, Lin RJ. 2019. Investigation of sea turtle resources in the South China Sea and research on demulitified breeding technology. Project approved by the fisheries department of the ministry of agriculture (subject no. 8607–7).]
- 莫珍妮, 曹庆先, 陈圆, 等. 2018. 广西沿海典型海滩海洋垃圾调查研究初探. 化学工程与装备, **258**(7): 303–305. [Mo ZN, Cao QX, Chen Y, et al. 2018. Investigation and study on marine garbage of typical coastal beaches in Guangxi. *Chemical Engineering & Equipment*, **258**(7): 2951–2958.]
- 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. [Wang J, Guo R, Yang-Yuan XY, et al. 2019. Threatened status and recommendations on sea turtle conservation in China. *Chinese Journal of Wildlife*, **40**(4): 2951–2958.]
- 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. [Wang YM. 1993. Achievement and perspective of the researches on South China Sea turtle resources and protection in China. *Chinese Journal of Ecology*, **12**(6): 60–61.]
- 叶锦昭. 1996. 西沙群岛环境水文特征. 中山大学学报: 自然科学版, **35**(S1): 19–25. [Ye JZ. 1996. Environmental hydrological characteristics of Xisha Islands. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, **35**(S1): 19–25.]
- 赵肖, 慕世斌, 廖岩, 等. 2016. 我国海滩垃圾污染现状及控制对策. 环境科学研究, **29**(10): 1560–1566. [Zhao X, Qi SB, Liao Y, et al. 2016. Investigation and control of beach litter pollution in China. *Research of Environmental Sciences*, **29**(10): 1560–1566.]
- Bouchard SS, Bjorndal KA. 2000. Sea turtles as biological transporters of nutrients and energy from marine to terrestrial ecosystems. *Ecology*, **81**: 2305–2313.
- Bourgeois S, Gilot-Fromont E, Viallefont A, et al. 2009. Influence of artificial lights, logs and erosion on leatherback sea turtle hatchling orientation at Pongara National Park, Gabon. *Biological Conservation*, **142**: 85–93
- Burger J, Gochfeld M. 2014. Factors affecting locomotion in Olive Ridley (*Lepidochelys olivacea*) hatchlings crawling to the sea at Ostional Beach, Costa Rica. *Chelonia Conservation and Biology*, **13**: 182–190.
- Bustard HR. 1972. Sea Turtles: Natural History and Conservation. New York: Taplinger.
- Carson HS, Colbert SL, Kaylor MJ, et al. 2011. Small plastic debris changes water movement and heat transfer through beach sediment. *Marine Pollution Bulletin*, **62**: 1708–1713.
- Chan SKF, Cheng IJ, Zhou T, et al. 2007. A comprehensive overview of the population and conservation status of sea turtles in China. *Chelonian Conservation and Biology*, **6**: 185–198.
- Claereboudt MR. 2004. Shore litter along sandy beaches of the Gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin*, **49**: 770–777.
- Costa MF, Sul JAID, Silva-Cavalcanti JS, et al. 2010. On the importance of size of plastic fragments and pellets on the strandline: A snapshot of a Brazilian beach. *Environmental Monitoring and Assessment*, **168**: 299–304.
- Duncan EM, Arrowsmith J, Bain C, et al. 2018. The true depth of the Mediterranean plastic problem: Extreme microplastic pollution on marine turtle nesting beaches in Cyprus. *Marine Pollution Bulletin*, **136**: 334–340.
- Fujisaki I, Lamont MM. 2016. The effects of large beach debris on nesting sea turtles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **482**: 33–37.
- Hamann M, Godfrey MH, Seminoff JA, et al. 2010. Global research priorities for sea turtles: Informing management and conservation in the 21st century. *Endangered Species Research*, **11**: 245–269.
- Hawkes LA, Broderick AC, Godfrey MH, et al. 2009. Climate change and marine turtles. *Endangered Species Research*, **7**: 137–154.
- Hays GC, Speakman JR. 1993. Nest placement by loggerhead turtles, *Caretta caretta*. *Animal Behaviour*, **45**: 47–53.
- Hidalgo-Ruz V, Gutow L, Thompson RC, et al. 2012. Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*, **46**: 3060–3075.
- Jambeck JR, Geyer R, Wilcox C, et al. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, **347**: 768–771.
- Jia YY, Wang J, Balazs GH, et al. 2019. Nest productivity for Green Turtles (*Chelonia mydas*) at Qilianyu of Xuande Islands, South China Sea, P.R. China: Preliminary findings. *Chelonian Conservation and Biology*, **18**: 116–120.
- Laist DW. 1997. Impacts of marine debris: Entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records// Coe JM, Rogers DB, eds. Marine debris—Sources, Impacts and Solutions. Springer, New York: 99–139.
- Lam T, Xu L, Takahashi S, et al. 2011. Market forces: An examination of marine turtle trade in China and Japan. TRAF-FIC East Asia: Hong Kong.
- Laurence WF, Fay JM, Parnell RJ, et al. 2008. Does rainforest logging threaten marine turtles. *Oryx*, **42**: 246–251.
- Lebreton L, Slat B, Ferrari F, et al. 2018. Evidence that the great Pacific garbage patch is rapidly accumulating plastic.

- Scientific Reports* , **8**: 4666.
- Li C , Wu XC , Rieppel O , *et al.* 2008. An ancestral turtle from the Late Triassic of Southwestern China. *Nature* , **456**: 497–501.
- Martin JM , Jambeck JR , Ondich BL , *et al.* 2019. Comparing quantity of marine debris to loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) nesting and non-nesting emergence activity on Jekyll Island , Georgia , USA. *Marine Pollution Bulletin* , **139**: 1–5.
- Mortimer JA. 1982. Factors influencing beach selection by nesting sea turtles// *Biology and Conservation of Sea Turtles*. Washington , DC: Smithsonian Institution Press: 45–52.
- Mortimer JA. 1990. The influence of beach sand characteristics on the nesting behavior and clutch survival of Green Turtles (*Chelonia mydas*) . *Copeia* , **1990**: 802–817.
- Nelms SE , Duncan EM , Broderick AC , *et al.* , 2016. Plastic and marine turtles: A review and call for research. *ICES Journal of Marine Science* , **73**: 165–181.
- PlasticEurope. 2016. Plastics-the facts 2016: an analysis of European plastics production , demand and waste data [WWW Document]. URL.
- Santos IR , Friedrich AC , Wallner M , *et al.* 2005b. Influence of socio-economic characteristics of beach users on litter generation. *Ocean and Coastal Management* , **48**: 742–752.
- Schuyler Q , Hardesty BD , Wilcox C , *et al.* 2014. Global analysis of anthropogenic debris ingestion by sea turtles. *Conservation Biology* , **28**: 129–139.
- Sedat D , Yeşilyurtacı N , Erbaş C. 2019. Potential interaction between plastic litter and green turtle *Chelonia mydas* during nesting in an extremely polluted beach. *Marine Pollution Bulletin* , **140**: 138–145.
- Sul ID , Santos IR , Santos IR , Friedrich , Friedrich AC , *et al.* 2011. Plastic pollution at a sea turtle conservation area in NE Brazil: Contrasting developed and undeveloped beaches. *Estuaries and Coasts* , **34**: 814–823.
- Thompson RC , Olsen Y , Mitchell RP , *et al.* 2004. Lost at sea: Where is all the plastic. *Science* , **304**: 838.
- Tomillo PS , Paladino FV , Suss JS , *et al.* 2010. Predation of leatherback turtle hatchlings during the crawl to the water. *Chelonian Conservation and Biology* , **9**: 18–25.
- Triessnig P , Roetzer A , Stachowitsch M. 2012. Beach condition and marine debris: New hurdles for sea turtle hatchling survival. *Chelonian Conservation and Biology* , **11**: 68–77.
- Whiting SD. 1998. Types and sources of marine debris in Fog Bay , Northern Australia. *Marine Pollution Bulletin* , **36**: 904–910.
- Witherington BE , Hiram S , Mosier A. 2011. Sea turtle responses to barriers on their nesting beach. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* , **410**: 1–6.
- Zavaleta-Lizàrraga L , Morales-Màvil JE. 2013. Nest site selection by the green turtle (*Chelonia mydas*) in a beach of the north of Veracruz , Mexico. *Revista Mexicana De Biodiversidad* , **84**: 927–937.
- Zhu CY , Li DN , Sun YX , *et al.* 2019. Plastic debris in marine birds from an island located in the South China Sea. *Marine Pollution Bulletin* , **149**: 1–4.
-
- 作者简介 张 婷,女,1994年生,硕士研究生,研究方向为两栖爬行动物生态及保护生物学。E-mail: 864690293@qq.com
责任编辑 李凤芹
-