

世界海洋环境中的塑料污染现状分析及治理建议*

廖 琴** 曲建升 王金平 高 峰
(中国科学院兰州文献情报中心,兰州 730000)

摘 要: 塑料碎片在环境中广泛存在,目前已成为海洋污染的重要来源,是当今海洋环境中不可忽视的新型污染物。本文对近几年国际上有关海洋塑料污染的研究进行了梳理,综述了塑料碎片在世界海洋环境中的含量分布及对海洋生态环境的危害,分析了国际上为应对海洋塑料污染采取的相关行动举措,同时对加强海洋塑料污染的防治提出了建议。

关键词: 海洋环境; 塑料; 污染; 行动举措; 防治; 建议

中图分类号: X55 文献标识码: A doi: 10.16507/j.issn.1006-6055.2015.02.020

Pollution Analysis of Plastic and Improving Proposal in Marine Environment*

LIAO Qin** QU Jiansheng WANG Jinping GAO Feng
(Lanzhou Library of Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract: Plastic debris, especially at the micro-scale, is widespread in the environment. It has become a pervasive pollution problem affecting all of the world's oceans and an emerging pollutant in the marine environment which can not be neglected. Here, based on the relevant literature in recent years, the main progress of marine plastic pollution were hatched and analyzed, with the abundance and distribution of plastic debris in the marine environment summarized, and the eco-environmental impact of Plastic debris discussed, the initiatives taken for tackling plastic pollution analyzed. In addition, a few specific countermeasures were proposed to strengthen prevention of the marine plastic pollution.

Key words: plastic; marine environment; pollution; initiatives; prevention; suggestion

1 引言

塑料在当今社会中占有举足轻重的地位,被广泛应用于商业、工业、医药和市政等领域。自 20 世纪 40 年代开始大规模生产以来,塑料的产量迅速增加,从 20 世纪 50 年代的每年 150 万吨大幅增加到 2011 年的 2.8 亿吨^[1]。随着中国工业化进程的不断加快,中国已成为全球塑料产量最大的国家。

塑料工业的发展在给人类社会生活、生产带来方便的同时,也导致大量的废旧塑料垃圾不断产生。在 20 世纪 70 年代初期,有关海洋塑料垃圾的首次报道^[2]在科学界很少受到关注,但随着海洋塑料污染问题日益严重,海洋塑料垃圾越来越受到重视。自 2011 年起,联合国环境规划署(UNEP)开始持续关注海洋中的塑料垃圾,尤其是对微型塑料(micro-plastics)。UNEP 2011 年年鉴指出,海洋塑料污染已成为新的令人瞩目的焦点^[3]。

据 UNEP 估计,1997 年有超过 640 万吨垃圾进

入海洋,2005 年每平方公里的海洋表面有超过 13000 件塑料垃圾^[4],2006 年这一数据为 18000 件^[5]。研究表明,60%~80% 的海洋碎片来自于陆地活动,且这些碎片中约 80% 为塑料^[6],多数的海洋塑料碎片是经环境分解后的微型塑料,绝大多数直径小于 5 mm。不同研究人员对微型塑料定义的直径范围不同,包括小于 10 mm^[7];小于 5 mm^[8-11];在 2~6 mm 之间^[12],小于 2 mm^[13];小于 1 mm^[14];在 0.06~0.5 mm 之间^[15]等。

由于塑料的持久性和普遍性,塑料垃圾正在破坏、威胁着海洋环境,更可怕的是,它已经开始渐渐地进入食物链,严重影响到海洋生态系统的健康和可持续发展^[16]。2014 年 6 月 23 日,UNEP 在首届联合国环境大会上发布的《联合国环境规划署 2014 年年鉴》^[10]和《评估塑料的价值》^[17]报告指出,海洋里大量的塑料垃圾日益威胁到海洋生物的生存,保守估计每年由此造成的经济损失高达 130 亿美元。本文在调研研究报告和科学论文等文献的基础上,综合评述了全球对海洋塑料污染状况的研究进展,并探讨了减缓海洋中塑料碎片的一些方法,为未来海洋塑料污染的研究和管理决策提供参考。

2014-08-12 收稿,2014-11-21 接受

* 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA11000000)资助

** 通讯作者, E-mail: liaoqin@llas.ac.cn

2 全球海洋塑料污染状况

许多研究已经对不同的国家和海洋海滩、海底、水体和海面的塑料数量进行了估算^[18](表1)。虽然进入海洋环境中的塑料碎片总量无法准确估计,但研究发现塑料垃圾在世界各地的海洋无处不在,包括极地地区都能发现塑料碎片^[10]。

表1 微型塑料的空间分布和含量举例

位置	观察到的最大密度	文献来源
新英格兰沿海水域	3个/m ³	Carpenter et al. 1972 ^[19]
西北大西洋海域	67000个/km ²	Colton et al. 1974 ^[20]
英国潮滩沉积物	86个/kg	Thompson et al. 2004 ^[21]
印度拆船地沉积物	89 mg/kg	Reddy et al. 2006 ^[22]
瑞典沿海水域	102000个/m ³	Noren and Naustvoll 2010 ^[23]
马尔他海滩	>1000个/m ²	Turner and Holmes 2011 ^[24]
葡萄牙海滩	6个/m ²	Martins and Sobral 2011 ^[25]
地中海西北部	1个/m ²	Collignon et al. 2012 ^[26]
德国东弗里西亚群岛海滩	621个/10g	Liebezeit and Dubaish 2012 ^[27]

1975年,世界渔船队向海洋倾倒约135400吨塑料捕鱼装置和23600吨合成包装材料^[28,29]。Horsman^[30]估计,世界各地的商船每天向海洋倾倒约639000个塑料容器。国际海洋环保组织对全球海洋中的塑料垃圾数量做了初步调查,估计目前地球上所有海洋中总共有2857亿多斤的塑料垃圾^[31]。美国斯克里普斯海洋学研究所对2010年北太平洋的塑料垃圾密度进行研究,北太平洋海域每平方公里塑料垃圾的数量已达1.3万块,比上世纪70年代初增加了100倍^[32]。来自法国和比利时的生物学家对法国、意大利北部及西班牙的地中海海域10~15cm深的水体取样分析发现,90%的样品都含有塑料垃圾碎片,推测在整个地中海海域,大约有2500亿个微型塑料垃圾碎片,合计约500吨^[33]。中国海洋局通过对2013年中国近海海域污染情况监测发现,海面漂浮物、海底垃圾、海滩废弃物中存在大量塑料垃圾,尤其是在海底垃圾中占到83%^[34]。来自英国自然历史博物馆、伦敦大学皇家霍洛威学院的科学家沿泰晤士河口上游的河床进行调查,对7个地点进行了为期3个月的塑料垃圾采样研究。研究团队共捕捞到8490件垃圾,包括香烟塑料包装、食品包装和塑料杯等,而由于研究使用的捕捞网局限性影响,塑料垃圾的总体规模可能远远高于本研究所捕捞到的数量^[35]。澳大利亚西部大学和澳大利亚联邦科学与工业研究组织共同发起的一项研究发现,澳大利亚附近水域中每平方公里漂浮着4000多个小塑料颗粒^[36]。Eriksen等^[37]在美

国五大湖700海里(1300km)的21个站点采集了漂浮生物样本,并分析了其中的塑料碎片,发现有20个站点的微型塑料含量达43000个/km²,而在两个主要城市的下游,含量高达466000个/km²,其中有20%的直径小于1mm。

环流区是微型塑料积累的热点地区。有研究显示,在北太平洋副热带环流区,塑料的最大浓度和质量分别达到32.76个/m³和250mg/m³^[32]。西班牙国家研究委员会马拉斯皮纳(Malaspina)海洋考察队发现,全球海洋中存在五大塑料碎片聚集地,分别是北太平洋、北大西洋、南太平洋、南大西洋和印度洋地区,这些聚集带基本与海洋表面的五大环流所在地重合。调查获取的海洋垃圾样本中88%都含有塑料垃圾碎片,大部分是用于制造塑料袋、饮料瓶、食品袋、厨房用具、玩具等日用品的聚乙烯和聚丙烯^[38]。Obbard等^[39]在北冰洋海冰里也发现众多微型塑料。随着北极海冰冻结,大量微小塑料被束缚,结果是冰块中含有的碎片数量比泛太平洋垃圾带高3个数量级。工业沿海地区也是微型塑料积累的热点地区,在瑞典邻近聚乙烯生产厂附近的港口地区,海水中的塑料密度约为100000个/m³^[23]。

3 塑料污染对海洋环境的影响

塑料进入海洋后一些会沉入大洋海底,另外一些会随着洋流漂浮,污染海岸线并在海洋中大量积累。对于塑料给海洋生态环境造成的破坏,多数研究的主要结论为:缠住海豚和鲸鱼等生物并破坏其栖息地;海龟、鲸鱼和海鸟等海洋生物摄入后会导致疾病或死亡;导致外来物种入侵,对生物多样性产生潜在的影响^[10,40]。此外,由于塑料表面能吸附许多持久性有机污染物(POPs),如多氯联苯(PCBs)、多环芳香烃(PAHs)、滴滴涕(DDTs)以及其他有机氯农药^[41],对海洋生物可能会产生化学污染。

3.1 被塑料缠绕

渔网和绳索、单丝线和包装捆扎带等海洋塑料碎片可缠绕海洋哺乳动物、海龟、海鸟和鱼类等并导致其受伤或死亡^[42]。Laist^[43]编制了全球受垃圾缠绕和摄取的已知海洋物种(如表2所示),由此可知许多物种已遭受塑料的缠绕,包括51种海鸟和6种海龟。一些物种受缠绕的数量巨大,但准确数量难以评估。有报道称,每年有13万个小鲸类被塑料缠绕^[18]。白令海中每年有4万只北方毛皮海豹被塑料缠绕致死^[12]。2001~2005年在加利福尼亚中部

和美国西北部沿海,有 454 个动物被缠绕的记录,包括 31 种鸟类、9 种海洋哺乳动物和 1 种棱皮龟,崖海鸦、西美鸥和加州海狮是最常被缠绕的物种^[44]。另外一项对加利福尼亚 5 种野生动物康复设施的记录分析发现,2001~2006 年,渔具对褐鹈鹕(589)、海鸥(375)、加州海狮(106)、象海豹(16)和港海豹(4)造成了共计 1090 项缠绕或摄取伤害^[45]。

表 2 被塑料缠绕和摄取的全球海洋物种数量和比例记录^[43]

种群	全球物种数量	被缠绕的物种数量和比例	摄取的物种数量和比例
海龟	7	6 (86%)	6 (86%)
海鸟	312	51 (16%)	111 (36%)
企鹅(企鹅目)	16	6 (38%)	1 (6%)
鸬鹚(鸬鹚目)	19	2 (10%)	0
信天翁、海燕、海鸥(隼形目)	99	10 (10%)	62 (63%)
鸬鹚、鲣鸟塘鹅、鸬鹚、军舰鸟、热带鸟(鸬鹚目)	51	11 (22%)	8 (16%)
水鸟、贼鸥、鸥、燕鸥、海雀(鸬鹚目)	122	22 (18%)	40 (33%)
其他鸟类	—	5	0
海洋哺乳动物	115	32 (28%)	26 (23%)
须鲸类(须鲸亚目)	10	6 (60%)	2 (20%)
齿鲸(齿鲸亚目)	65	5 (8%)	21 (32%)
海狗和海狮(海狮科)	14	11 (79%)	1 (7%)
海豹(海豹科)	19	8 (42%)	1 (5%)
海牛和海象(海牛目)	4	1 (25%)	1 (25%)
海獭(鼬科)	1	1 (100%)	0
鱼	—	34	33
甲壳类	—	8	0
鲑鱼	—	0	1
物种总数		136	177

1) “—”表示具体数目不详。

3.2 摄取塑料

目前,遭遇塑料缠绕或摄取海洋塑料碎片的已知物种至少有 267 个,包括海鸟、海龟、海豹、海狮、鲸鱼和鱼类^[18]。动物摄取海洋塑料碎片会导致消化道堵塞,摄食能力受损,进而死亡,并容易受到塑料中有害化学物质的影响^[46]。大多数对海洋塑料摄取的研究主要集中在海龟和海鸟,而对鱼类摄取塑料的影响研究相对较少^[47]。在巴西南部沿岸,34 种绿海龟全部摄入了塑料碎片,35 种海鸟中有 14

种有摄入^[48]。在西地中海,摄取海洋塑料碎片的海龟数量占到调查海龟的 79.6%^[49]。澳大利亚昆士兰大学的研究显示,从 20 世纪 80 年代开始,大海龟因吞食塑料垃圾致死的案例开始大幅上升。到 2012 年,其比例从 1985 年的约 30% 急速上升至近 50%^[50]。20 世纪 60 年代初期,人们就已发现有海鸟摄取塑料^[51]。在北太平洋东部和热带太平洋,有 73% 的海鸟种类摄取了塑料^[52]。在北大西洋调查的 13 种海鸟中,71% 的海鸥类海鸟摄入了塑料碎片,且这类海鸟胃部中的塑料碎片含量最多,个别海鸟胃部中多达 36 种塑料物品^[53]。Goldstein 等估计,北太平洋的鱼群每年吃下的塑料碎片在 1.2~2.4 吨之间,绝大多数塑料碎片的直径小于 5 mm^[23]。另一项对北太平洋环流食浮游生物鱼类研究发现,约 35% 的鱼摄取塑料,每条鱼中平均含有 2.1 块塑料^[54]。

3.3 外来物种的潜在入侵

人类活动已经导致许多物种从它们的原生栖息地迁移到非原生地区。通过使用漂浮的塑料碎片作为运输设备的物种入侵在科学界是一个相对较新的问题^[6]。海洋上漂浮的塑料碎片为一些海洋生物的迁移提供了“木筏”(表 3),包括浮动海藻、海草、植物树干或种子^[55,56]。过去半个世纪以来,由于大量塑料碎片进入海洋环境,增加了海洋生物传播的机会。据估计,人造塑料碎片使海洋生物迁移到热带纬度和 3 倍以上纬度地区的机会增加了约一倍,从而潜在增加了外来物种的入侵^[57]。在温暖的地区,如佛罗里达州,发现了一个外来的苔藓虫物种。在寒冷的地区,在极端北纬度地区的塑料上发现一个藤壶和苔藓虫物种,同时在设得兰群岛塑料碎片上发现了入侵的藤壶物种^[56]。一项研究还发现,塑料碎片上存在的海洋物种导致了藻华的发生^[58]。

表 3 使用塑料作为“木筏”的一些海洋生物入侵例子^[6]

漂浮的材料	生物类型	物种名称	发现的位置	起源位置
塑料颗粒	苔藓虫	疣突膜孔苔虫(<i>Membranipora tuberculata</i>)	新西兰	澳大利亚
合成绳	牡蛎	鸡冠牡蛎(<i>Iloa cristagalli</i>)	新西兰	印度洋-太平洋地区
塑料玩具船	陆地植物	8 种物种的种子,有 3 种外来物种	新西兰	未知
塑料碎片	苔藓虫	托孔苔虫属(<i>Thalamoporella evelinae</i>)	佛罗里达	巴西
塑料筐	牡蛎	(<i>pinctata</i> spp.)	百慕大群岛	委内瑞拉
拖网	海葵	<i>Diadumene lineata</i>	夏威夷群岛西北部	日本
塑料袋	苔藓虫、海绵、蠕虫、银莲花、贻贝	10 个物种	南极洲	未知
塑料碎片	微藻类	未知的物种	地中海	未知
塑料碎片	藤壶	<i>Elminius modestus</i>	不列颠群岛、设得兰群岛、欧洲北部	通过澳大利亚水域的英格兰南部

4 国际应对海洋塑料污染的举措

为应对全球海洋塑料垃圾带来的挑战,UNEP倡导的“保护海洋环境免受陆源污染全球行动计划”(GPA)于1995年在美国华盛顿召开的政府间会议上获得通过。GPA旨在应对人类陆地活动所引起的对海洋及沿海环境的健康、繁殖及生物多样性的威胁,将塑料及其他海洋碎片作为主要关注对象。此外,UNEP还与联合国教科文组织下属的政府间海洋学委员会(UNESCO-IOC)合作制定了调查和监测海洋垃圾的指南^[59]。2005年,联合国海洋和海洋法问题非正式协商进程第六次会议关注的一个主题也是海洋塑料垃圾。2012年6月,海洋垃圾全球合作伙伴(GPML)成立,其核心任务是减少和管理海洋垃圾。一些国际合作计划也正在积极推进相关研究行动,以确定海洋塑料污染的物理和化学效应,如联合国海洋环境保护科学问题联合专家组(GESAMP)正在对海洋环境微型塑料的来源、生命周期及其影响进行全球评估。

区域合作对解决海洋塑料碎片问题至关重要。2003年,UNEP区域海洋方案和UNEP/GPA联合发起“海洋垃圾全球倡议”,支持和指导了12个区域行动计划的出台。区域海洋方案涉及黑海、广泛的加勒比地区、东亚海域、东部非洲、南亚海域、ROPME海域、地中海、东北太平洋、西北太平洋、红海和亚丁湾、东南太平洋、太平洋和非洲西部。行动包括与海洋保护协会合作的国际海岸清理(ICC),旨在提高对区域海洋垃圾问题的意识,并鼓励公众教育和参与^[60]。2011年,UNEP和美国国家海洋和大气管理局(NOAA)合作举办第5届国际海洋垃圾会议^[61],旨在从全球、国家和地方的各级层面上来解决海洋废弃物的问题。

一些国家已经开始对海洋中的塑料碎片进行监测和报道。欧盟海洋战略框架指令利用11个指标描述了海洋环境的状况,其中一个就是海洋垃圾的数量。这些指标既覆盖了人类肉眼可见的较大颗粒,也有微型颗粒^[10]。2013年3月7日,欧盟委员会发布塑料废品绿皮书,就提高塑料制品的利用效率和降低塑料制品对环境的影响征求公众意见^[62]。美国提高了已开发的确定和量化海洋垃圾数量及组分的监测和评估方法。2006年,NOAA专门成立海洋垃圾项目(Marine Debris Program)^[63],旨在研究和解决海洋垃圾带来的问题,保护国家的海洋环境、

自然资源以及工业、经济和人类。该计划致力于通过宣传和教育措施,以改变公众使用塑料的行为。在英国,废物及资源行动计划(WRAP)^[64]鼓励企业减少浪费、增加回收和减少对垃圾填埋的依赖。2014年1月,主题为“微塑料的去向及其对海洋生态系统的影响”会议在法国雷斯特举办,主要讨论微塑料的来源、所含的添加剂、吸附持久性有机污染物、在食物链间的传递、影响海洋环境等问题^[65]。

许多行业部门也意识到了海洋塑料污染问题。美国和英国的塑料行业已经实施“除草行动”(Operation Clean Sweep)来减少树脂颗粒对环境的损失,尤其是在运输和装运期间^[66]。2011年,全球塑料行业发表声明,承诺以不同的方式为解决海洋垃圾做出贡献。“击败微型塑料”的国际活动旨在对公司施加压力,以禁止微型塑料在生产和消费中的使用。因此,许多个人和零售公司已宣布他们将停止生产或出售含微型塑料的产品^[10]。

一些非政府组织也在关注海洋中的塑料碎片。自1997年以来,非政府组织阿尔加利特海洋研究中心一直致力于海洋研究,减少海洋塑料污染,最初关注北太平洋,后扩展到北大西洋和印度洋^[67],目前正在调查微型塑料和POPs在5个主要海洋环流的分布^[68]。2009年,海星计划(Project Kaisei)和斯克里普斯海洋研究所合作支持研究生探险,以探索和分析在北太平洋环流的塑料碎片^[69]。海洋保护协会组织的一年一度的国际净滩行动主要是在海滩上收集各种废弃物,2009年志愿者在6000个场地收集了3357吨垃圾^[70]。

5 加强海洋塑料污染防治的建议

海洋塑料污染跨越了国家和区域界限,是一个复杂的全球性环境问题。尽管国际社会和一些国家为防止和减少废弃塑料等海洋垃圾做出了不懈努力,但这一问题仍在加剧。为进一步控制海洋塑料污染,建议:

1) 加强对塑料垃圾的来源管理。海洋塑料垃圾的泛滥反映出人类社会存在的一大痼疾,即自然资源管理不善带来的生态与环境的影响。从来源上减少垃圾的数量、改善垃圾管理是大幅降低海洋塑料污染的关键。因此,不论政府、企业或个人都应重视海洋环境保护和海洋资源管理:一是,通过制定更为严格的塑料产品管理标准和规范,大幅减少微型塑料在消费品中的使用,避免微型塑料对土地、河流直

至海洋造成污染;二是政府要加强对消费习惯和废弃物管理的引导和规范,持续提高民众减少塑料垃圾的参与意识;三是,引入再使用或回收利用的财政激励措施(如对塑料包装征税)和增加法律条款来限制向环境中排放塑料垃圾的行为。

2) 推动建立海洋塑料污染问题的国际联合行动机制。由于海洋垃圾会随着洋流移动,其责权归属便成了争论焦点。此外,由于治理海洋垃圾的成本很高,这也造成了各国之间的推诿和指责。例如,日本国内曾出现过要向韩国收取海洋垃圾处理费的言论,而韩国政府则认为有许多垃圾是从中国漂流过来的,只有在中国支付韩国垃圾处理费的前提下,韩国才会支付日本这一费用^[71]。因此,各国政府应加强联合行动,通过相关的区域海洋公约和河流委员会开展合作,共同处理海洋中的塑料垃圾。

3) 我国应重视并加强海洋塑料垃圾的管理和研究。我国自2008年6月1日开始施行具有法律效应的“限塑令”,对减少塑料使用量具有一定的效果,但覆盖领域过小,不足以全面遏制塑料污染趋势。此外,我国自2009年开始将中国近海海域的海洋垃圾监测结果纳入中国海洋环境质量公报的内容中,但对塑料垃圾的环境行为研究目前尚是空白。因此,我国还需要从以下几方面加强对塑料污染的管控:一是来源控制,扩大限塑令的覆盖品种和区域,严控塑料垃圾的排放,开发微型塑料的高效、低成本生物/矿物/可降解替代产品,大幅减少微型塑料的消费;二是海事监管,加强对我国海域内行驶的船舶垃圾管理,加强海事现场巡查和监管,提高我国船员对船舶垃圾进行规范处理的能力和意识;三是污染监测,提高我国环境部门对塑料污染及其传输过程的监测,严控违法排放;四是机理研究,鼓励科研人员开展环境塑料污染行为研究,以更好地理解各种塑料的环境毒性、迁移路径、生命周期和生物积累规律,支持相关管理和治理工作。

参考文献

- [1] Plastics-the Facts 2012: an Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data for 2011 [R]. PlasticsEurope 2012.
- [2] CARPENTER E J, SMITH K L. Plastics on the Sargasso Sea surface [J]. Science, 1972, 175(4027): 1240-1241.
- [3] UNEP Year Book 2011: Emerging Issues in Our Global Environment [R]. UNEP. 2011.
- [4] Marine Litter: An analytical overview [R]. UNEP. 2005.
- [5] UNEP. Ecosystems and Biodiversity in Deep Waters and High Seas [R]. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 178. 2006.
- [6] Plastic Debris in the California Marine Ecosystem [R]. California Ocean Science Trust. 2011.
- [7] GRAHAM E R, THOMPSON J T. Deposit-and Suspension-Feeding Sea Cucumbers (Echinodermata) Ingest Plastic Fragments [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2009, 368(1): 22-29.
- [8] FENDALL L S, SEWELL M A. Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers [J]. Marine Pollution Bulletin, 2009, 58(8): 1225-1228.
- [9] WRIGHT S L, THOMPSON R C, GALLOWAY T S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review [J]. Environmental Pollution, 2013, 178: 483-492.
- [10] UNEP Year Book 2014: Emerging Issues in Our Global Environment [R]. UNEP. 2014.
- [11] LAW K L, THOMPSON R C. Microplastics in the seas [J]. Science, 2014, 345(6193): 144-145.
- [12] DERRAIK J G B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review [J]. Marine Pollution Bulletin, 2002, 44(9): 842-852.
- [13] RYAN P G, MOORE C J, VAN FRANKEKER J A, et al. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2009, 364(1526): 1999-2012.
- [14] CLAESSENS M, DE MEESTER S, VAN LANDUYT L, et al. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, 62(10): 2199-2204.
- [15] GREGORY M R, ANDRADY A L. Plastics in the marine environment [M]// ANDRADY A L. Plastics and the Environment. John Wiley and Sons. 2003.
- [16] 赵淑江, 王海雁, 刘健. 微塑料污染对海洋环境的影响 [J]. 海洋科学, 2009, 33(3): 84-86.
- [17] Valuing Plastic: The Business Case for Measuring, Managing and Disclosing Plastic Use in the Consumer Goods Industry [R]. UNEP. 2014.
- [18] Plastic Debris in the World's Oceans [R]. GREENPEACE. 2011.
- [19] CARPENTER E J, ANDERSON S J, HARVEY, G R, et al. Polystyrene spherules in coastal waters [J]. Science, 1972, 178(4062): 749-750.
- [20] COLTON J B, KNAPP F D, BURNS B R. Plastic particles in surface waters of the Northwestern Atlantic [J]. Science, 1974, 185(4150): 491-497.
- [21] THOMPSON R C, OLSEN Y, MITCHELL R P, et al. Lost at sea: where is all the plastic [J]. Science, 2004, 304(5672): 838-838.
- [22] REDDY M, ADIMURTHY S, RAMACHANDRAIAH G. Description of the small plastics fragments in marine sediments along the Alang-Sosiyah ship-breaking yard, India [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2006, 68(3-4): 656-660.
- [23] NOREN F, NAUSTVOLL F. Survey of Microscopic Anthropogenic Particles in Skagerrak [R]. KLIMA-OG FORURENSNINGSDIREK-

- TORATET ,Norway 2010.
- [24] TURNER A ,HOLMES L. Occurrence ,distribution and characteristics of beached plastic production pellets on the island of Malta (central Mediterranean) [J]. *Marine Pollution Bulletin* ,2011 ,62 (2) : 377-381.
- [25] MARTINS J ,SOBRAL P. Plastic marine debris on the Portuguese coastline: a matter of size [J]. *Marine Pollution Bulletin* , 2011 ,62 (12) : 2649-2653.
- [26] DOYLE M J ,WATSON W ,BOWLIN N M ,et al. Plastic particles in coastal pelagic ecosystems of the Northeast Pacific ocean [J]. *Marine Environmental Research* 2011 ,71: 41-52.
- [27] LIEBEZEIT G ,DUBAISH F. Microplastics in beaches of the Frisian Islands Spiekeroog and Kachelotplate [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 2012 ,89 (1) : 213-217.
- [28] CAWTHORN M. Impacts of marine debris on wildlife in New Zealand and coastal waters [C]// *Proceedings of Marine Debris in New Zealand's Coastal Waters Workshop*. Wellington ,New Zealand , 1989: 5-6.
- [29] Department of Conservation. *Marine Debris* [R]. Wellington ,New Zealand. 1990.
- [30] HORSMAN P V. The amount of garbage pollution from merchant ships [J]. *Marine Pollution Bulletin* ,1982 ,13(5) : 167-169.
- [31] 腾讯科技. 环保组织调查显示海洋中有 2857 亿斤塑料垃圾 [EB/OL]. 2010-07-12. <http://tech.qq.com/a/20100712/000226.htm>
- [32] GOLDSTEIN M C ,ROSENBERG M ,CHENG Lanna. Increased oceanic microplastic debris enhances oviposition in an endemic pelagic insect [J]. *Biology letters* 2012 ,8 (5) : 817-820.
- [33] PHYS. ORG. '250 billion' plastic fragments in Mediterranean [EB/OL]. 2010-12-30. <http://phys.org/news/2010-12-billion-plastic-fragments-mediterranean.html>
- [34] 国家海洋局. 2013 年中国海洋环境状况公报 [EB/OL]. 2014-03-21. http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyhjzkgb/hyhjzgbml/2013nzghyhjzkgb_2484/201403/t20140321_31054.html
- [35] MORRITT D ,STEFANOUDIS P V ,PEARCE D ,et al. Plastic in the Thames: A river runs through it [J]. *Marine Pollution Bulletin* , 2014 ,78(1-2) : 196-200.
- [36] REISSER J ,SHAW J ,WILCOX C ,et al. Marine Plastic Pollution in Waters around Australia: Characteristics ,Concentrations ,and Pathways [J]. *PLoS One* 2013 ,8(11) : e80466.
- [37] ERIKSEN M ,MASON S ,WILSON S ,et al. Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes [J]. *Marine Pollution Bulletin* 2013 ,77(1-2) : 177-182.
- [38] CÓZARA A ,ECHEVARRÍA F ,GONZÁLEZ-GORDILLO J I ,et al. Plastic debris in the open ocean [J]. *PNAS* 2014 ,11(28) : 10239-10244.
- [39] OBBARD R W ,SADRI S ,WONG Yingqi ,et al. Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice [J]. *Earth's Future* 2014 ,2(6) : 315-320.
- [40] ANDRADY A L. Microplastics in the marine environment [J]. *Marine Pollution Bulletin* 2011 ,62(8) : 1596-605.
- [41] RIOS L M ,MOORE C ,JONES P R. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment [J]. *Marine Pollution Bulletin* 2007 ,54(8) : 1230-1237.
- [42] SHEAVLY S B. Marine debris - an overview of a critical issue for our oceans [C]. *Sixth Meeting of the UN Open-ended Informal Consultative Processes on Oceans & the Law of the Sea*. 2005.
- [43] LAIST D W. Impacts of marine debris: entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records [M]. COE J M ,ROGERS D. *Marine Debris: Sources ,Impacts ,Solutions*. New York: Springer-Verlag , 1997: 99-139.
- [44] MOORE E ,LYDAY S ,ROLETTO J ,et al. Entanglements of marine mammals and seabirds in central California and the north-west coast of the United States 2001-2005 [J]. *Marine Pollution Bulletin* , 2009 ,58 (7) : 1045-1051.
- [45] DAU B K ,GILARDI K V ,GULLAND F M ,et al. Fishing gear-related injury in California marine wildlife [J]. *Journal of Wildlife Diseases* 2009 ,45(2) : 355-362.
- [46] GREGORY M R. Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement ,ingestion ,smothering ,hangers-on , hitch-hiking and alien invasions [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* ,2009 ,364(1526) : 2013-2025.
- [47] MOORE C J ,MOORE S L ,LEECASER M K ,et al. A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre [J]. *Marine Pollution Bulletin* 2001 ,42 (12) : 1297-1300.
- [48] *Marine Debris: Defining a Global Environmental Challenge* [R]. Global Environmental Facility. 2011.
- [49] TOMÁS J ,GUITART R ,MATEO R ,et al. Marine debris ingestion in loggerhead sea turtles ,*Caretta caretta* ,from the Western Mediterranean [J]. *Marine Pollution Bulletin* 2002 ,44(3) : 211-216.
- [50] SCHUYLER Q ,HARDESTY B ,WILCOX C ,et al. Global Analysis of Anthropogenic Debris Ingestion by Sea Turtles [J]. *Conservation Biology* 2014 ,28(1) : 129-139.
- [51] SPEAR L B ,AINLEY D G ,RIBIC CA. Incidence of plastic in seabirds from the Tropical Pacific ,1984-1991: relation with distribution of species ,sex ,age ,season ,year and body weight [J]. *Marine Environmental Research* ,1995 ,40 (2) : 123-146.
- [52] BLIGHT L K ,BURGER A E. Occurrence of plastic particles in seabirds from the Eastern North Pacific [J]. *Marine Pollution Bulletin* , 1997 ,34 (5) : 323-325.
- [53] PROVENCHER J F ,BOND A L ,HEDD A ,et al. Prevalence of marine debris in marine birds from the North Atlantic [J]. *Marine Pollution Bulletin* 2014 ,84(1-2) : 411-417.
- [54] BOERGER C M ,LATTIN G L ,MOORE S L ,et al. Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre [J]. *Marine Pollution Bulletin* 2010 ,60(12) : 2275-2278.
- [55] ALIANI S ,MOLCARD A. Hitch-hiking on floating marine debris: macrobenthic species in the Western Mediterranean Sea [J]. *Hydrobiologia* 2003 ,503: 59-67.

(下转第 217 页)

- [4] Engineering and Physical Sciences Research Council. Intellectual Property & Commercialization [EB/OL]. <http://www.epsrc.ac.uk/files/funding/how-to-apply/funding-basics/intellectual-property-commercialisation/>.
- [5] Biotechnology and Biological Sciences Research Council. Distribution of exploitation income [EB/OL]. 2013-10-31. <http://www.bbsrc.ac.uk/organisation/policies/employment/code/pay/a7-14.aspx>.
- [6] Babraham Commercialization Services Limited. Babraham Commercialization Services [EB/OL]. 2013-02-28. <http://www.babrahamcs.co.uk/>.
- [7] Plant Bioscience Limited. PBL-Innovation in Life Sciences [EB/OL]. <http://www.pbltechnology.com/>.
- [8] The Pirbright Institute. Knowledge exchange and commercialization [EB/OL]. <http://www.pirbright.ac.uk/resources/kt.aspx>.
- [9] Biotechnology and Biological Sciences Research Council. BBSRC Institutes: Technology Transfer Review [DB/OL]. 2009 August. <http://www.bbsrc.ac.uk/organisation/policies/reviews/business-activities/0908-institute-tech-transfer-review.aspx>.
- [10] Medical Research Council. Staff Code Policy Document [EB/OL]. 2007-04-03. http://www.ed.ac.uk/polopoly_fs/1.998061/file-Manager/staff-code.pdf.
- [11] MRC Technology. Introduction. [EB/OL]. <http://www.mrctechnology.org/about-us/>.
- [12] Medical Research Council. Annual Report and Accounts 2012/2013 [DB/OL]. 2013-07-15. <http://www.mrc.ac.uk/about/spending-accountability/annual-report/>.
- [13] MRC Technology. Trustees' Annual Report and Accounts 2012-2013 [DB/OL]. 2013 March. <http://www.mrctechnology.org/downloads/>.
- [14] Medical Research Council. Annual Report and Accounts 2011/2012 [DB/OL]. 2012-07-16. <http://www.mrc.ac.uk/about/spending-accountability/annual-report/>.
- [15] Cancer Research UK. Annual Report and Accounts 2012/13 [DB/OL]. 2013 June. <http://www.cancerresearchuk.org/about-us/how-we-are-run/annual-report-and-accounts>.
- [16] Cancer Research Technology. Our Company [EB/OL]. <http://www.cancertechnology.com/our-company>.
- [17] European Commission. Public Sector Research Exploitation Fund [EB/OL]. http://erawatch.jrc.ec.europa.eu/erawatch/opencms/information/country_pages/gb/supportmeasure/support_mig_0011.
- [18] Biotechnology and Biological Sciences Research Council. Biosciences scoop over £ 7M from Government commercialization fund [EB/OL]. 2008-06-23. <http://www.bbsrc.ac.uk/news/archive/2008/080623-pr-biosciences-commercialisation-fund.aspx>.

(上接第 211 页)

- [56] BARNES D K A, MILNER P. Drifting plastic and its consequences for sessile organism dispersal in the Atlantic Ocean [J]. *Marine Biology* 2005 146(4): 815-825.
- [57] BARNES D K A. Invasion by marine life on plastic debris [J]. *Nature* 2002 416: 808-809.
- [58] MASÓ M, GARCÉS E, PAGÈS F, et al. Drifting plastic debris as a potential vector for dispersing Harmful Algal Bloom (HAB) species [J]. *Scientia Marina* 2003 67(1): 107-110.
- [59] UNEP. UNEP/IOC Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter [R]. UNEP Regional Seas Reports and Studies, No. 186. 2009.
- [60] UNEP's Global Initiative on Marine Litter [R]. UNEP. 2009.
- [61] International Marine Debris Conference. Waves of Change: Global lessons to inspire local action [C]. Fifth International Marine Debris Conference. 2011.
- [62] 新华网. 欧盟发表塑料废品绿皮书 [EB/OL]. 2013-03-07. http://news.xinhuanet.com/2013-03/07/c_124430566.htm.
- [63] NOAA. The NOAA Marine Debris Program [EB/OL]. <http://marinedebris.noaa.gov/>.
- [64] Waste & Resource Action Programme. WRAP: Material change for a better environment [EB/OL]. 2011. <http://www.wrap.org.uk>.
- [65] MICRO. Fate and Effects of Microplastics in Marine Ecosystem [EB/OL]. 2014. <http://micro2014.sciencesconf.org/?lang=en>.
- [66] Pellet Handling Manual: Make Zero Pellet Loss Your Goal [R]. Operation Clean Sweep. 2011.
- [67] Algalita. Algalita Marine Research Foundation [EB/OL]. 2011. <http://www.algalita.org>.
- [68] 5 Gyres. Understanding Plastic Pollution through Exploration, Education and Action [EB/OL]. 2011. <http://5gyres.org>.
- [69] Scripps Institution. SEAPLEX: Scripps Research Cruise [EB/OL]. 2009. <http://scrippsnews.ucsd.edu/Releases/?releaseID=1015>.
- [70] Trash Travels: From Our Hands to the Sea, Around the Globe, and Through Time [R]. Ocean Conservancy. 2010.
- [71] 大慧小惠. 中国海洋垃圾的现状 [J]. *海洋世界* 2012 (5): 24-25.

作者简介

廖琴(1986-),女,硕士,助理研究员,主要研究方向:环境污染战略情报研究。