科学通报 2015 年 第 60 卷 第 33 期: 3210 ~ 3220
评 述 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

海岸环境中微塑料污染及其生态效应研究进展

周倩[①②], 章海波[①②], 李远[①②], 骆永明[①②*]

① 中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室, 烟台海岸带研究所, 烟台 264003;
② 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049
* 联系人, E-mail: ymluo@yic.ac.cn

2015-06-29 收稿, 2015-08-06 接受, 2015-10-16 网络版发表
中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-14)和中国科学院战略先导专项(XDA11020402)资助

摘要 海洋及海岸环境中的微塑料作为一种新型污染物近年来受到广泛关注. 通过系统调研, 综述了近10年来国际上在海岸环境中微塑料污染及其生态效应方面的研究进展; 认为完善高效准确的微塑料分析与鉴定方法, 建立可靠的源解析技术和模型仍然是当前海岸环境微塑料研究亟待解决的关键技术难点. 同时, 基于洋流、潮汐等水动力模型揭示海岸环境微塑料的时空分布规律, 结合微塑料表面特性阐明微塑料与毒害污染物结合与释放机制, 系统构建微塑料及其复合污染物的生态与健康风险评估的方法学平台和基础数据库将是今后该领域研究的热点. 因此, 在联系国际前沿科学问题与关键技术难点的基础上, 紧密结合海岸带污染特征, 未来应重点加强海岸带微塑料污染状况的调查、监测、与其他新型污染物的复合机制、跨营养级生物传递与富集规律、以及管理体系等研究, 以提升海岸带微塑料污染的研究水平和监管能力.

关键词
微塑料
海岸环境
复合污染
生态效应

塑料及其制品在工业、农业及日常生活中被广泛应用, 全球每年使用塑料不少于2.4亿吨[1]. 环境中的塑料残体可以通过风力、河流、洋流等外力进行远距离迁移[2], 污染地球上的偏远角落[3]. 从已有报道发现, 目前在北大西洋[4]和太平洋[5,6]表面以及深海[7]均存在着较高程度的塑料碎片污染; 同时也有研究表明, 中国南海海岸带地区塑料碎片的污染也非常普遍[8]. 这些碎片由于受到太阳辐射(光降解、脆化)或波浪等作用, 直径往往小于1 cm甚至更低[3], 并且在长期的物理、化学作用下会分解成更为微小型的塑料碎片或颗粒[9], 当其直径小于5 mm时即可定义为微塑料[10].

微塑料由于化学性质稳定, 可在环境中存在数百年至几千年[3], 其作为一类新型环境污染物越来越受到重视. 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, 尤其关注微塑料的污染问题. 2014年6月的首届联合国环境大会上, UNEP发布*UNEP Year Book 2014*[11]和*Valuing Plastic: The Business Case for Measuring, Managing and Plastic Use in the Consumer Goods Industry*[12]报告指出, 海洋里大量的塑料垃圾给海洋生态系统造成的经济损失每年高达130亿美元. *Nature*杂志在2014年12月连续两期报道了海面漂浮和海底沉积物中微塑料的研究进展, 并呼吁人们关注海洋环境中的微塑料污染及其危害[13,14]. 根据对文献数据库的检索统计, 有关微塑料的论文主要集中发表在近6年, 并呈现逐年增长趋势, 特别是2013年以来, 每年发表论文都在40篇以上. 研究内容主要集中在微塑料的调查与生态效应等方面.

海岸带是陆海相互作用的交界带, 也是人类活动最为活跃的地区. 一方面人类活动产生的大量塑料垃圾、污水在海岸带地区汇集[1], 或可能通过河流向河口和近海输送[15]; 另一方面海洋上存在的大量塑料垃圾在洋流、潮汐的作用下迁移汇聚在海岸带滞

引用格式: 周倩, 章海波, 李远, 等. 海岸环境中微塑料污染及其生态效应研究进展. 科学通报, 2015, 60: 3210–3220
Zhou Q, Zhang H B, Li Y, et al. Progress on microplastics pollution and its ecological effects in the coastal environment (in Chinese). Chin Sci Bull, 2015, 60: 3210–3220, doi: 10.1360/N972015-00714

留[3,4,16]. 因此, 目前国际上许多微塑料污染的调查研究也集中在海岸带地区. 如德国的翡翠湾[17]、英国西南部的泰马河口[18]、比利时海岸[19,20]、新加坡沿海地区[21,22]、澳大利亚沿海地区[1]、夏威夷Kamilo海滩[23]等. 而有关中国海岸带地区的微塑料污染报道还相对较少, 目前仅有的几个案例包括在长江口、南海旅游海滩、香港岛海湾水面和沙滩上的微塑料污染调查[24~27]. 本文主要通过文献调研和实际研究, 从微塑料的调查方法、来源及分布特征, 微塑料与其他痕量污染物的结合, 以及微塑料对浮游生物及底栖生物的危害等方面, 系统综述近年来研究进展, 并展望未来发展趋势, 为开展中国海岸带环境微塑料污染研究与监督工作提供参考.

1 微塑料的采样、分离与鉴定方法研究

1.1 高效便捷的微塑料样品采集与分离方法及装置研发

由于微塑料直径一般较小, 不易发现, 在野外如果直接用肉眼观察收集水面漂浮或沉积物埋藏的颗粒塑料, 会导致采样不完全. 因此, 往往会在划分的一定面积区域内采集大量的水样或沉积物样品, 进而在实验室进行分离; 这些样品根据研究的需要可以是表层样品[28]或者分层采集的样品[21]. 所以, 如何从这些大量样品中分离识别出微塑料样品成为开展该项调查研究的重要基础. 水体样品的微塑料分离相对较为简单, 可直接采用拖网式或将采集的水样进行过滤来收集微塑料. 但沉积物中的微塑料分离相对较为复杂, 目前通常是采用密度分离的方法, 比如采用饱和氯化钠溶液[29]、多钨酸钠溶液[30]或海水[24]等对沉积物样品进行浸泡分离. 本实验室基于密度分离的原理, 设计了一套连续流动分离浮选装置, 可对大体积沉积物样品进行不间断分离浮选. 通过试验取得了较好的效果[31]. 但由于实际样品中物质组成复杂, 对于有机质含量较高或有海藻等附着的样品, 在分离之前还要使用35%双氧水、酶消化法等进行预处理, 消除表面有机物质对微塑料挑选或鉴定的干扰[29,32]. Claessens等人[33]设计了一种淘洗管装置用于沉积物中微塑料的分离, 该装置是由柱体、筛、曝气石和底部供水系统组成, 装置设计简易, 主要通过气体或液体产生上升流使微塑料上浮, 达到从基质中分离的目的. Zhu[34]针对该装置的柱长和直径、筛孔大小、流速、分离时间等相关参数进行了优化, 在一定程度上提高了微塑料的回收率, 但有关微塑料分离效率仍需进一步提高. 也有研究者采用了亲脂性染料(例如尼罗红)进行染色来辅助识别[35], 但能否应用在实际的复杂样品中筛选识别还有待进一步验证.

1.2 微塑料低样品量的多参数分析方法研究

传统的微塑料鉴定可通过目测或者显微镜辅助下的观测实现. 这主要依据它们的透明性、颜色、形状、硬度等特征进行鉴别并分类, 但这些鉴定方法主观性较强, 容易造成误判. 一些破坏性的方法比如通过样品燃烧现象或者有机溶剂溶解后的信息来判定聚合物的组成也被广泛应用. 例如, Fries等人[36]运用裂解气相色谱/质谱法同时鉴定微塑料及其中添加剂的类型, 该种方法具有用量小、直接进样、可定性定量等优点, 但具有破坏性, 实验条件控制要求高. 热分析如差示扫描量热法[37]等由于对不同的塑料具有很高的区分率、样品用量少、且对共混物的鉴别具有很大的优越性, 也被用于微塑料的鉴定, 但费时且要完全破坏样品. 相比较破坏性的鉴定方法, 原位非破坏性的方法在微塑料研究方面更受到关注. 这主要是由于微塑料提取的样品量往往较少, 非破坏性的分析鉴定方法可以满足在较少样品量的情况下进行多途径分析, 得到不同的参数. 目前运用较为普遍的是傅立叶变换红外光谱[1]、拉曼光谱[38]等进行微塑料成分的鉴定, 傅立叶变换红外光谱不受样品大小、形状等影响, 且样本量小, 但易受塑料老化的影响, 拉曼光谱不仅可以获得表面官能团信息, 还能观察其局部微观形貌, 但获得的仅仅是微塑料表面的信息. 在微塑料的形貌及表面元素鉴定方面, 还可以采用扫描电子显微镜-能谱分析等方法[36]. 最近, 有研究者采用全反射傅立叶变换显微红外光谱来鉴定沉积物中的微塑料[39], 利用该仪器的分子定位功能, 按照微塑料的成分特征对沉积物中的微塑料进行扫描定位分析, 提高了查找和鉴定的效率. 该方法通过对模拟微塑料污染的沉积物测试后显示, 其准确性还有待进一步提高.

2 海岸环境中微塑料的来源及分布研究

2.1 海岸环境中微塑料源解析研究

海岸环境中的微塑料污染来源非常复杂, 既有

河流、排污、垃圾堆放等陆源输入, 也有来自海洋漂浮垃圾随洋流和潮汐的输入. 因此, 解析海岸带微塑料的来源是揭示微塑料时空分布规律的基础. 对于陆源输入, 污水的大量排放及垃圾堆放等是微塑料的主要来源之一. 一些洗涤剂、生活护肤[40]以及工业原料等工业品中含有大量的微塑料成分, 由于其粒径小(数毫米级)、密度低等原因不易从污水中分离或去除, 从而随污水一起排出到环境中. Browne等人[1]研究表明, 在日常清洗衣物过程中, 每次清洗可产生1900多个纤维进入废水中, 单位体积废水中的纤维量可达到100 个/L以上, 而来自污水处理厂的污水中, 平均每升污水中就含有1个微塑料(<1 mm). 通过河流向河口及近海输入是微塑料陆源输入的另一个重要途径. Zhao等人[26]调查发现在长江口和其附近海域地区水体表面漂浮的微塑料丰度分别为4137.3±2461.5和0.167±0.138 个/m^3, 可见从长江口进入东海地区, 微塑料的丰度急剧下降, 显示了明显的陆源特征.

对于微塑料的海相来源, 一方面是海上作业和船舶运输带来的塑料污染[25,41,42], 例如海上作业的渔船或运输船只本身船体及其装置破损、装有工业原料的船只在海上运输过程中泄漏等导致的塑料污染; 另外从全球来看, 在北太平洋和北大西洋的亚热带环流区, 均存在着大面积毫米级的塑料垃圾富集, 形成了这两个大洋的“垃圾带”[4,16]; 而在一些局部地区, 如黑潮延伸区海洋漩涡带也存在大面积的塑料垃圾. 这些区域的塑料垃圾在洋流等作用下可能会进一步迁移, 在海洋及海岸带地区进行重新分布, 从而影响海岸带地区的微塑料污染[3,43].

除了陆源和海源外, 海岸带的浴场、盐场、养殖、港口等人类活动密集的地区都会产生微塑料污染. 例如, 在亚洲、澳大利亚、巴拿马、美国等多个地区的沿海码头浮筒(发泡聚苯乙烯)和水产养殖设施在遭损害后可形成数以千计的微小塑料颗粒, 成为当地海岸带微塑料污染的一个重要来源[44]. 但目前针对海岸带复杂环境条件下的微塑料来源, 还有待发展系统的源解析技术.

2.2 海岸环境中微塑料大小及其丰度研究

海岸环境中的微塑料空间分布规律可从海面漂浮的微塑料和滞留在潮滩及近海沉积物中的微塑料两方面来讨论. 表1归纳了全球范围河流与河口[18,26,45,46]、海湾[17,47,48]、海峡[32,48]、海岛周边[49,50]、

表 1 全球海岸区域海面漂浮微塑料的粒径和丰度

Table 1 The size and abundance of floating microplastics in global coastal waters

调查区域	粒径	微塑料丰度	参考文献
奥地利多瑙河	<20 mm	0.32±4.67 个/m^3	[45]
英格兰西南部的泰马河口	>5 mm	0.03 个/m^3	[18]
巴西戈亚纳河口	<5 mm	0.26 个/m^3	[46]
地中海科西嘉岛卡尔维湾	0.2~10 mm	0.06 个/m^2	[47]
地中海科西嘉岛卡尔维湾	>10 mm	0.01 个/m^2	[47]
北海南部的翡翠湾	<5 mm	64±194 个/L	[17]
加拿大夏洛特皇后湾	398±376 μm	7630±1410 个/m^3	[48]
加拿大乔治亚海峡	513±494 μm	3210 ± 628 个/m^3	[48]
英吉利海峡西部	<5 mm	0.27 个/m^3	[32]
地中海西北部	0.3~5 mm	0.12 个/m^2	[53]
意大利撒丁岛西海域	<5 mm	0.15 个/m^3	[50]
利古里亚海和撒丁岛海域	<5 mm	0~10 个/m^3	[49]
葡萄牙海岸	<5 mm	0.002~0.036 个/m^3	[51]
加拿大温哥华岛西海岸	558±521 μm	1710±1110 个/m^3	[48]
韩国南部海岸	总含量	211±117 个/L	[52]
韩国南部海岸	<50 μm	103±59 个/L	[52]
韩国南部海岸	50~100 μm	69±41 个/L	[52]
韩国南部海岸	100~200 μm	23±20 个/L	[52]
韩国南部海岸	200~500 μm	11±11 个/L	[52]
韩国南部海岸	500~1000 μm	2.9±3.4 个/L	[52]
韩国南部海岸	>1000 μm	2.1±2.9 个/L	[52]
中国长江口	0.5~5 mm	4137.3 ± 2461.5 个/m^3	[26]
中国东海海岸	0.5~5 mm	0.167 ± 0.138 个/m^3	[26]

近海[26,51,52]等不同类型的海岸区域海面漂浮微塑料的丰度和粒径分布特征. 总体上, 目前海岸带地区海面漂浮微塑料污染已较普遍. 中国长江口地区的微塑料丰度相对较高[26], 仅次于加拿大夏洛特皇后湾[48]. 从监测到的微塑料颗粒大小来看, 粒径500 μm左右的微塑料较为突出[26], 也有一些海岸以50 μm以下的微塑料为主[52].

表2归纳了海岸带潮滩及近海沉积物中微塑料的空间分布调查, 其中涉及岛屿周边海域沉积物[54,55]、休闲海滩[1,19,20]、港湾[53]、自然潮滩湿地[22,24]、河口[56]、拆船厂附近海域[57]等. 海岸沉积物与深海沉积物相比, 前者微塑料的丰度总体上要高一些, 变幅在0.21~77000 个/m^2之间[61], 空间分异性较大, 这可能与潮滩位置和季节差异有关, 例如香港地区海滩潮上带沉积物中微塑料(各个粒级)的丰度远高于潮间带[24]; 韩国洛东江河口沉积物中雨季后的微塑料丰度要高于雨季前[56]. 在微塑料的粒径分布上, 沉积物中的微塑料大多为1 mm以下, 有的甚至小于几十微米. 在新加坡红树林湿地中, 微塑料的粒径范围主要集中在20 μm以下, 塑料类型主要为聚乙烯、聚丙烯、尼龙和聚氯乙烯等[22].

3 海岸环境中微塑料表面污染物的结合特征及其机制

环境中微塑料由于颗粒小, 且具有疏水性等特征, 是持久性有机污染物等有毒有害化学物质的载

表 2 全球海岸沉积物中微塑料的粒径和丰度

Table 2 The size and abundance of microplastics in global coastal sediments

调查区域	粒径	微塑料丰度	参考文献
英国神龙湾(Sennon)	<1 mm	31~40 个/250 mL	[1]
葡萄牙沿海地区	–	1289 个/m^2	[58]
葡萄牙沿海地区	3~6 mm	1.5~362 个/m^2	[58]
葡萄牙的法鲁岛海滩	<1 mm	31~40 个/250 mL	[1]
葡萄牙蓬塔德尔加达港	<1 mm	21~30 个/250 mL	[1]
德国 Spiekeroog 岛	<5 mm	38 个/10 g (max.)	[54]
德国 Kachelotplate 岛	<5 mm	496 个/10 g (max.)	[54]
比利时海岸	38 μm~1 mm	390 个/kg (max.)	[20]
比利时海岸	<1 mm	17 ±11 个/L	[19]
大西洋地区岛屿	–	>100 g/L	[55]
美国弗吉尼亚州海滩	<1 mm	21~30 个/250 mL	[1]
美国加利福尼亚州海滩	<1 mm	1~10 个/250 mL	[1]
加拿大哈利法克斯港	<5 mm	20~80 个/10 g	[59]
智利比尼亚德尔马海滩	<1 mm	11~20 个/250 mL	[1]
智利蓬塔阿雷纳斯海滩	<1 mm	11~20 个/250 mL	[1]
日本海滩(47 个)	<1 mm	>100 个/海滩	[60]
韩国洛东江河口	1~5 mm	8205~27606 个/m^2;	[56]
新加坡红树林湿地	< 20 μm	3.0~15.7 个/250 g	[22]
阿联酋迪拜海滩	<1 mm	1~10 个/250 mL	[1]
菲律宾马拉帕斯卡岛海滩	<1 mm	1~10 个/250 mL	[1]
印度 Alang-Sosiya 拆船厂附近	–	81 mg/kg	[57]
香港地区海滩潮上带	2~5 mm	1223 个/海滩	[24]
香港地区海滩高潮线	2~5 mm	280 个/海滩	[24]
中国南海旅游海滩	<5 mm	0~132 个/m^2	[27]
澳大利亚道格拉斯港海滩	<1 mm	21~30 个/250 mL	[1]
澳大利亚巴瑟尔顿海滩	<1 mm	1~10 个/250 mL	[1]
非洲阿曼海滩	<1 mm	11~20 个/250 mL	[1]
南非西开普省海滩	<1 mm	21~30 个/250 mL	[1]
非洲莫桑比克的奔巴海滩	<1 mm	21~30 个/250 mL	[1]

体, 并可通过洋流作用迁移扩散, 影响污染物的全球分布[62]. 例如, Ogata等人[63]收集了17个国家和地区海岸水体中100多个微塑料, 并分析其中的多氯联苯、有机氯农药等有机污染物, 揭示了不同国家和地区沿海微塑料中有机污染物浓度的差异, 其空间格局多体现在多氯联苯和有机氯农药的使用区域差异. 日本[60,64]、英国[41]、葡萄牙[65,66]、希腊[67]、南非[68]、美国[69,70]、巴西[71]和中国香港地区[24]也结合当地的海岸带分析了微塑料表面的多氯联苯、有机氯农药、多环芳烃、壬基酚、何帕烷等污染物, 发现有些地区的多环芳烃含量可高达24000 ng/g[66]. Fisner等人[71]还分析了沉积物剖面中树酯扁粒的多环芳烃含量及成分, 认为表层沉积物中树酯扁粒的多环芳烃含量最高, 且不同层次的树酯扁粒中多环芳烃成分具有差异. 微塑料表面除了吸附有机污染物外, 还会吸附金属元素. Ashton等人[41]通过调查和模拟研究发现环境中微塑料表面有Fe, Al, Zn, Pb, Cu, Ag等金属元素存在, 并可利用这些元素来追踪海洋中塑料的年限和来源. 此外, 微塑料的复杂表面也会使一些纳米颗粒更容易在其表面吸附, 如, Fries等人[36]发现了微塑料表面分布着纳米TiO_2颗粒.

微塑料类型、成分、粒径大小以及表面结构的复杂性等都是影响其表面结合污染物的重要因素. Frias等人[65]发现黑色和老化的微塑料表面对持久性有机污染物吸附量要高于白色和彩色微塑料. 除了微塑料表观类型, 更多的研究则关注微塑料原料成分对污染物吸附的影响. Lee等人[72]认为聚乙烯型微塑料对多环芳烃的吸附要高于聚丙烯型; Rochman等人[70]比较了更多不同原料成分的微塑料, 认为高密度聚乙烯型、低密度聚乙烯型和聚丙烯型对多环芳烃与多氯联苯的吸附量要普遍高于聚对苯二甲酸乙酯型和聚氯乙烯型. Wang等人[73]比较了聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯对全氟辛烷磺酰胺的吸附结合能力, 其对全氟辛烷磺酰胺的分配系数(K_d)依次降低. 此外同种塑料对不同种有机污染物的吸附能力也有差异, 如同样为聚乙烯型微塑料, 对邻苯二甲酸酯的吸附能力要强于对全氟辛酸铵[74]. 此外, 微塑料的粒径大小和环境条件(pH、盐度等)也会影响其对污染物的结合. 例如, 纳米级的聚苯乙烯型塑料颗粒(直径为70 nm)对多氯联苯的吸附量要比微米级的聚乙烯型塑料颗粒(直径为10~180 μm)高1~2个数量级[75]; 低pH和高盐条件则能提高微塑料对某些持久性有机污染物的吸附性[73,75,76]. 但也有研究发现, 在河口地区, 微塑料与滴滴涕和菲的结合能力与水体中相应污染物浓度有关, 而与盐度相关性较小; 同时也发现淡水、含盐水、海水条件下的聚乙烯和聚氯乙烯两种微塑料对滴滴涕和菲的吸附量遵循菲-聚乙烯>>滴滴涕-聚氯乙烯=滴滴涕-聚乙烯>>菲-聚氯乙烯的规律[76]. 总体而言, 目前对微塑料表面吸附污染物的研究主要利用实验室制备的微塑料进行模拟研究, 对环境中微塑料在老化或降解过程中的污染物结合与释放机制等关键科学问题仍缺乏了解.

4 海岸环境中微塑料污染的生态效应研究

4.1 生物体中微塑料的富集与分布研究

微塑料的粒径一般在5 mm以内, 因而容易被海洋环境中的浮游动物、底栖生物、鱼类等误食, 从而危害生物体的生长[77]. 目前, 已有一些文献通过研究微塑料在生物体不同组织和器官中的富集与转移来探讨海岸环境中微塑料污染的生态效应, 其中模式生物主要为浮游生物和贝类(表3). Imhof等人[61]利用荧光标记方法证实了微塑料(29.5±26 μm)被带丝蚓(*Lumbriculus variegates*)摄入后可进入肠道系统. 通过解剖和组织切片也表明, 微米级的微塑料被摄入后会在生物体不同部位积累, 如肠道腔、消化管、胃、肝胰腺、卵巢、鳃瓣和血淋巴等[78~80]. 同时, von Moos等人[81]也发现贻贝(*Mytilus edulis*)吞食的微塑料(0~80 μm)也可进入细胞中富集. 微塑料在不同营养级生物中的转移富集已成为微塑料生态效应的研究热点. Setälä等人[82]发现微塑料通过中型浮游动物向大型浮游动物转移的现象. Farrell和Nelson[79]观测到微塑料从贻贝(*Mytilus edulis*)到蟹(*Carcinus maenas*)的转移现象. Tanaka等人[83]通过解剖发现北太平洋北部短尾鼱(*Puffinus tenuirostris*)胃及腹部脂肪中的多溴联苯醚主要来自摄入的微塑料. 未来更需要关注微塑料在食物网中的转移富集对其表面负载污染物的生物富集作用及其对人体健康的风险.

4.2 微塑料及其复合污染物对生物体的毒性效应研究

微塑料被浮游动物、鱼类等误食后会产生一定的危害和毒性效应. 目前, 表征毒性效应的指标主要包括摄食率[77,86,89]、生长情况[80,86]、死亡率[80,88,93]、产

表 3　微塑料污染的生态效应评估方法

Table 3　Assessment of the ecological effects of microplastics pollution

研究生物的种类	研究方法	生态效应评估方法	参考文献
浮游生物			
桡足类(*Acartia clause; Calanus helgolandicus; Centropages typicus; Temora longicornis*)	野外调查(大西洋)	生物体摄入量、排泄量、附着量、生物体摄食变化	[84]
丝海龟(*Halobates sericeus*)	野外调查(北太平洋)	产卵量	[85]
糠虾(*Neomysis integer*; *Mysis relicta*; *Mysis mixta*)	室内培养	生物体摄入量	[82]
桡足类(*Acartia* spp.; *Eurytemora affinis*; *Limnocalanus macrurus*)	室内培养	生物体摄入量	[82]
枝角类(*Bosmina coregoni maritima*; *Evadne nordmannii*)	室内培养	生物体摄入量	[82]
轮虫类(*Synchaeta* spp.)	室内培养	生物体摄入量	[82]
多毛类幼虫(*Marenzelleria* spp.)	室内培养	生物体摄入量	[82]
纤毛虫(*Tintinnopsis*; *lobiancoi*)	室内培养	生物体摄入量	[82]
等足类动物(*Idotea emarginata*)	室内培养	胃肠道及粪便中存在量; 死亡率, 生长和蜕皮时间等	[80]
海胆幼虫(*Tripneustes gratilla*)	室内培养	摄食及生物生长情况	[86]
底栖生物			
贻贝(*Mytilus edulis* L.)	室内培养	生物体摄取、体内转运途径和富集部位	[78]
贻贝(*Mytilus edulis* L.)	室内培养	鳃、消化腺的富集, 炎症、溶酶体膜稳定性	[81]
贻贝(*Mytilus edulis* L.)	室内培养	假粪产生量、排泄物量、鳃瓣活性	[87]
贻贝(*Mytilus edulis* L.), 蟹(*Carcinus maenas* L.)	室内培养	生物体摄入量、不同器官的富集量	[79]
沙蚕(*Arenicola marina*)	室内培养	致死率、抵抗病菌能力	[88]
沙蚕(*Arenicola marina*)	室内培养	肠道摄入量、摄食活性、干重损失量	[89]
沙蚕(*Talitrus saltator*)	室内培养	肠道的停留时间; 排泄物中含量等	[90]
端足类(*Allorchestes compressa*)	室内培养	生物吸收、富集性(针对吸附的 PBDEs)	[91]
鱼类			
海洋表层鱼类(鳕鱼 *Merlangius merlangus*; 蓝鳕鱼 *Micromesistius poutassou*; 大西洋鲭鱼 *Trachurus trachurus*; 细长臀鳕鱼 *Trisopterus minutus*; 海鲂 *Zeus faber*)	野外调查(英吉利海峡)	生物体摄入量	[92]
海洋底层鱼类(红鲂鱼 *Aspitrigla cuculus*; 鱼衔 *Callionymus lyra*; 红条带鱼 *Cepola macrophthalma*; 牛舌鳎 *Buglossisium luteum*; 杂色鳎 *Microchirus variegates*)	野外调查(英吉利海峡)	生物体摄入量	[92]
鳃虎鱼(*Pomatoschistus microps*)	室内培养	死亡率; 生物酶活性	[93]
日本青鳉(*Oryzias latipes*)	室内培养	内分泌干扰效应	[94]
海鸟			
短尾鹱(*Puffinus tenuirostris*)	野外调查(北太平洋北部)	腹部脂肪中多溴联苯醚(PBDEs)含量, 胃中塑料颗粒及其 PBDEs 含量	[83]

卵量[85]、生物酶活性[93]等(表3). Goldstein等人[85]通过长期观察发现北太平洋海龟(*Halobates sericeus*)产卵密度与微塑料含量存在正相关, 微塑料的存在可为海龟提供了更多新的产卵载体, 因而可能影响生物群落结构和组成. 另外, 微塑料在消化腺的溶酶体系统中富集会产生血流粒细胞增多和溶酶体膜不稳定等特征, 从而产生炎症反应[81]. 除微塑料自身的毒性效应外, 其表面结合的毒害污染物, 以及该污染物与微塑料的复合体同样对生物体产生毒害作用. Bejgarn等人[95]研究发现塑料沥出物会对海洋桡足类动物(*Nitocra spinipes*)造成死亡等毒害作用, 且沥出物毒性的差异与塑料种类及其风化作用有关. Oliveira等人[93]认为微塑料与芘的混合物显著降低了鳃虎鱼(*Pomatoschistus microps*)的乙酰胆碱酯酶(AChE)和

异柠檬酸脱氢酶(IDH)的活性, 从而可能会增加天然鱼类种群的死亡率. Rochman等人[94]从细胞和基因水平上揭示了微塑料与持久性有机污染物的复合体对日本青鳉(*Oryzias latipes*)的内分泌系统功能的影响以及生殖细胞异常增殖的现象. 未来仍需从基因、细胞、组织、个体和种群水平加强系统研究, 积累更多毒理学基础数据; 结合海岸环境条件改变等因素, 揭示微塑料污染对海岸带生物体的毒理学机制.

5 未来研究展望

微塑料已成为海洋及海岸环境中的一类新型污染物, 对海洋生态环境产生了重要的影响[96,97]. 微塑料污染及其生态效应已是全球沿海国家的热点研究课题. 中国国家海洋局的海洋环境质量公报也显示, 中国近海海面和海滩中塑料类、聚苯乙烯泡沫类污染非常严重(国家海洋局, 2014年中国海洋环境质量公报, http://www.coi.gov.cn/gongbao/nrhuanjing/nr2014/201503/t20150316_32225.html). 加强海岸带及其邻近海域环境中微塑料污染研究及监管是保护中国海岸带生态环境和发展可持续蓝色海洋经济的重要内容. 未来应加强以下几个方面的研究:

(1) 海岸环境中微塑料污染状况及其源解析. 结合中国沿海省份不同海岸带类型的人类活动特点, 开展滨海湿地、旅游休闲娱乐区、农渔业区、港口航运区及邻近海域环境介质和浮游动物、底栖生物、鱼类和鸟类等近海生物体中的微塑料类型、特征、丰度等调查, 建立海岸带微塑料污染监测和源解析的方法、技术体系.

(2) 海岸环境中微塑料与新型污染物的复合污染及其环境行为. 结合中国海岸带化工、制药、钢铁等重污染行业的布局特点, 开展微塑料与全氟类化合物、氯化石蜡、多氯萘、抗生素等新型污染物的复合污染研究, 揭示微塑料表面的污染物结合与释放机制; 结合不同海岸环境中的盐度、温度、泥沙及水动力变化条件, 阐明复合污染物的环境行为.

(3) 海岸环境中微塑料及其复合污染物在食物网不同营养层生物间的传递与生态效应. 结合典型海岸带生态系统的食物网结构, 研究微塑料及其复合污染物在不同营养层生物间的传递过程、生物富集与生物放大效应; 建立从种群、个体、组织器官、细胞到基因等不同水平的生态学指标体系, 服务于海岸带微塑料污染的生态与健康风险评估和基准制定.

(4) 海岸环境微塑料污染的管理支撑技术体系. 海岸环境微塑料污染的陆源与海源具有同样重要性. 需要陆海、海陆统筹地研究建立相关的分析监测方法、标准、政策和法规, 以支撑对旅游休闲娱乐区、农渔业区、港口河口区等陆地潜在源和对船舶运输泄漏、漂浮垃圾等海域污染源的清理和监管.

参考文献

1 Browne M A, Crump P, Niven S J, et al. Accumulation of microplastic on shorelines woldwide: Sources and sinks. Environ Sci Technol, 2011, 45: 9175–9179

2 Cole M, Lindeque P, Halsband C, et al. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. Mar Pollut Bull, 2011, 62: 2588–2597

3 Cózar A, Echevarría F, González-Gordillo J I, et al. Plastic debris in the open ocean. Proc Natl Acad Sci USA, 2014, 111: 10239–10244

4 Law K L, Morét-Ferguson S, Maximenko N A, et al. Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre. Science, 2010, 329: 1185–1188

5 Eriksen M, Maximenko N, Thiel M, et al. Plastic pollution in the South Pacific subtropical gyre. Mar Pollut Bull, 2013, 68: 71–76

6 Law K L, Morét-Ferguson S E, Goodwin D S, et al. Distribution of surface plastic debris in the eastern Pacific Ocean from an 11-year data set. Environ Sci Technol, 2014, 48: 4732–4738

7 van Cauwenberghe L, Vanreusel A, Mees J, et al. Microplastic pollution in deep-sea sediments. Environ Pollut, 2013, 182: 495–499

8 Zhou P, Huang C, Fang H, et al. The abundance, composition and sources of marine debris in coastal seawaters or beaches around the northern South China Sea (China). Mar Pollut Bull, 2011, 62: 1998–2007

9 Thompson R C, Olsen Y, Mitchell R P, et al. Lost at sea: Where is all the plastic? Science, 2004, 304: 838

10 Arthur C, Baker J, Bamford H. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurance, Effects, and Fate of Mircroplastic Marine Debris. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Technical Memorandum NOS-OR&R-30, 2009

11 Smith J. Plastic debris in the ocean. In: UNEP (United Nations Environment Programme), ed. UNEP Year Book 2014: Emerging Issues in Our Global Environment. 2014. 48–53

12 Raynaud J. Valuing Plastic: The Business Case for Measuring, Managing and Disclosing Plastic Use in the Consumer Goods Industry. UNEP. 2014

13 Marris E. Fate of ocean plastic remains a mystery. Nature News, 2014, doi: 10.1038/nature.2014.16508

14 Perkins S. Plastic waste taints the ocean floors. Nature News, 2014, doi: 10.1038/nature.2014.16581

15 Zhang K, Gong W, Lv J, et al. Accumulation of floating microplastics behind the Three Gorges Dam. Environ Pollut, 2015, 204: 117–123

16 Goldstein M C, Titmus A J, Ford M. Scales of spatial heterogeneity of plastic marine debris in the northeast Pacific Ocean. PLoS One, 2013, 8: e80020

17 Dubaish F, Liebezeit G. Suspended microplastics and black carbon particles in the Jade system, southern North Sea. Water Air Soil Pollut, 2013, 224: 1–8

18 Sadri S S, Thompson R C. On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England. Mar Pollut Bull, 2014, 81: 55–60

19 van Cauwenberghe L, Claessens M, Vandegehuchte M B, et al. Assessment of marine debris on the Belgian Continental Shelf. Mar Pollut Bull, 2013, 73: 161–169

20 Claessens M, De Meester S, Van Landuyt L, et al. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. Mar Pollut Bull, 2011, 62: 2199–2204

21 Ng K L, Obbard J P. Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment. Mar Pollut Bull, 2006, 52: 761–767

22 Nor N H M, Obbard J P. Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems. Mar Pollut Bull, 2014, 79: 278–283

23 Carson H S, Colbert S L, Kaylor M J, et al. Small plastic debris changes water movement and heat transfer through beach sediments. Mar Pollut Bull, 2011, 62: 1708–1713

24 Zurcher N A. Small plastic debris on beaches in Hong Kong: An initial investigation. Master Dissertation. Hong Kong: The University of Hong Kong, 2009

25 Lee H. Plastics at sea (microplastics): A potential risk for Hong Kong. Master Dissertation. Hong Kong: The University of Hong Kong, 2013

26 Zhao S, Zhu L, Wang T, et al. Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze Estuary System, China: First observations on occurrence, distribution. Mar Pollut Bull, 2014, 86: 562–568

27 Zhao S, Zhu L, Li D. Characterization of small plastic debris on tourism beaches around the South China Sea. Region Stud Mar Sci, 2015, 1: 55–62

28 Hidalgo-Ruz V, Gutow L, Thompson R C, et al. Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. Environ Sci Technol, 2012, 46: 3060–3075

29 Nuelle M T, Dekiff J H, Remy D, et al. A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. Environ Pollut, 2014, 184: 161–169

30 Corcoran P L, Biesinger M C, Grifi M. Plastics and beaches: A degrading relationship. Mar Pollut Bull, 2009, 58: 80–84

31 Zhang H B, Zhou Q, Luo Y M, et al. A method and apparatus of continuous flow and flotating separation for microplastics (in Chinese). China Patent, Application Number: 201510227085.1 [章海波, 周倩, 骆永明, 等. 一种微颗粒塑料的连续流动分离浮选装置及方法. 中国专利, 申请号: 201510227085.1]

32 Cole M, Webb H, Lindeque P K, et al. Isolation of microplastics in biota-rich seawater samples and marine organisms. Sci Rep, 2014, 4: 4528

33 Claessens M, Van Cauwenberghe L, Vandegehuchte M B, et al. New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. Mar Pollut Bull, 2013, 70: 227–233

34 Zhu X. Optimization of elutriation device for filtration of microplastic particles from sediment. Mar Pollut Bull, 2015, 92: 69–72

35 Andrady A L. Microplastics in the marine environment. Mar Pollut Bull, 2011, 62: 1596–1605

36 Fries E, Dekiff J H, Willmeyer J, et al. Identification of polymer types and additives in marine microplastic particles using pyrolysis-GC/MS and scanning electron microscopy. Environ Sci Process Impact, 2013, 15: 1949–1956

37 Shiber J G. Plastic pellets on the coast of Lebanon. Mar Pollut Bull, 1979, 10: 28–30

38 Murray F, Cowie P R. Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). Mar Pollut Bull, 2011, 62: 1207–1217

39 Harrison J P, Ojeda J J, Romero-González M E. The applicability of reflectance micro-Fourier-transform infrared spectroscopy for the detection of synthetic microplastics in marine sediments. Sci Total Environ, 2012, 416: 455–463

40 Fendall L S, Sewell M A. Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. Mar Pollut Bull, 2009, 58: 1225–1228

41 Ashton K, Holmes L, Turner A. Association of metals with plastic production pellets in the marine environment. Mar Pollut Bull, 2010, 60: 2050–2055

42 Derraik J G B. The pollution of the marine environment by plastic debris: A review. Mar Pollut Bull, 2002, 44: 842–852

43 Browne M A, Galloway T S, Thompson R C. Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. Environ Sci Technol, 2010, 44: 3404–3409

44 Davidson T M. Boring crustaceans damage polystyrene floats under docks polluting marine waters with microplastic. Mar Pollut Bull, 2012, 64: 1821–1828

45 Lechner A, Keckeis H, Lumesberger-Loisl F, et al. The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. Environ Pollut, 2014, 188: 177–181

46 Lima A R A, Costa M F, Barletta M. Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary. Environ Res, 2014, 132: 146–155

47 Collignon A, Hecq J H, Galgani F, et al. Annual variation in neustonic micro-and meso-plastic particles and zooplankton in the Bay of Calvi (Mediterranean-Corsica). Mar Pollut Bull, 2014, 79: 293–298

48 Desforges J P W, Galbraith M, Dangerfield N, et al. Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. Mar Pollut Bull, 2014, 79: 94–99

49 Fossi M C, Panti C, Guerranti C, et al. Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*). Mar Pollut Bull, 2012, 64: 2374–2379

50 de Lucia G A, Caliani I, Marra S, et al. Amount and distribution of neustonic micro-plastic off the western Sardinian coast (Central-Western Mediterranean Sea). Mar Environ Res, 2014, 100: 10–16

51 Frias J, Otero V, Sobral P. Evidence of microplastics in samples of zooplankton from Portuguese coastal waters. Mar Environ Res, 2014, 95: 89–95

52 Song Y K, Hong S H, Jang M, et al. Large accumulation of micro-sized synthetic polymer particles in the sea surface microlayer. Environ Sci Technol, 2014, 48: 9014–9021

53 Collignon A, Hecq J H, Glagani F, et al. Neustonic microplastic and zooplankton in the North Western Mediterranean Sea. Mar Pollut Bull, 2012, 64: 861–864

54 Liebezeit G, Dubaish F. Microplastics in beaches of the East Frisian islands Spiekeroog and Kachelotplate. Bull Environ Contam Toxicol, 2012, 89: 213–217

55 Baztan J, Carrasco A, Chouinard O, et al. Protected areas in the Atlantic facing the hazards of micro-plastic pollution: First diagnosis of three islands in the Canary Current. Mar Pollut Bull, 2014, 80: 302–311

56 Lee J, Hong S, Song Y K, et al. Relationships among the abundances of plastic debris in different size classes on beaches in South Korea. Mar Pollut Bull, 2013, 77: 349–354

57 Reddy M S, Basha S, Adimurthy S, et al. Description of the small plastics fragments in marine sediments along the Alang-Sosiya ship-breaking yard, India. Estuar Coast Shelf Sci, 2006, 68: 656–660

58 Antunes J C, Frias J G L, Micaelo A C, et al. Resin pellets from beaches of the Portuguese coast and adsorbed persistent organic pollutants. Estuar Coast Shelf Sci, 2013, 130: 62–69

59 Mathalon A, Hill P. Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. Mar Pollut Bull, 2014, 81: 69–79

60 Endo S, Takizawa R, Okuda K, et al. Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: Variability among individual particles and regional differences. Mar Pollut Bull, 2005, 50: 1103–1114

61 Imhof H K, Ivleva N P, Schmid J, et al. Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles. Curr Biol, 2013, 23: R867–R868

62 Rios L M, Moore C, Jones P R. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. Mar Pollut Bull, 2007, 54: 1230–1237

63 Ogata Y, Takada H, Mizukawa K, et al. International Pellet Watch: Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. Mar Pollut Bull, 2009, 58: 1437–1446

64 Mato Y, Isobe T, Takada H, et al. Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. Environ Sci Technol, 2001, 35: 318–324

65 Frias J, Sobral P, Ferreira A M. Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast. Mar Pollut Bull, 2010, 60: 1988–1992

66 Mizukawa K, Takada H, Ito M, et al. Monitoring of a wide range of organic micropollutants on the Portuguese coast using plastic resin pellets. Mar Pollut Bull, 2013, 70: 296–302
67 Karapanagioti H K, Endo S, Ogata Y, et al. Diffuse pollution by persistent organic pollutants as measured in plastic pellets sampled from various beaches in Greece. Mar Pollut Bull, 2011, 62: 312–317
68 Ryan P G, Bouwman H, Moloney C L, et al. Long-term decreases in persistent organic pollutants in South African coastal waters detected from beached polyethylene pellets. Mar Pollut Bull, 2012, 64: 2756–2760
69 Van A, Rochman C M, Flores E M, et al. Persistent organic pollutants in plastic marine debris found on beaches in San Diego, California. Chemosphere, 2012, 86: 258–263
70 Rochman C M, Hoh E, Hentschel B T, et al. Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets: Implications for plastic marine debris. Environ Sci Technol, 2013, 47: 1646–1654
71 Fisner M, Taniguchi S, Moreira F, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in plastic pellets: Variability in the concentration and composition at different sediment depths in a sandy beach. Mar Pollut Bull, 2013, 70: 219–226
72 Lee H, Shim W J, Kwon J H. Sorption capacity of plastic debris for hydrophobic organic chemicals. Sci Total Environ, 2014, 470: 1545–1552
73 Wang F, Shih K M, Li X Y. The partition behavior of perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanesulfonamide (FOSA) on microplastics. Chemosphere, 2015, 119: 841–847
74 Bakir A, Rowland S J, Thompson R C. Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. Environ Pollut, 2014, 185: 16–23
75 Velzeboer I, Kwadijk C, Koelmans A A. Strong sorption of PCBs to nanoplastics, microplastics, carbon nanotubes, and fullerenes. Environ Sci Technol, 2014, 48: 4869–4876
76 Bakir A, Rowland S J, Thompson R C. Transport of persistent organic pollutants by microplastics in estuarine conditions. Estuarine Coastal Shelf Sci, 2014, 140: 14–21
77 Alford L K, Corcoran P, Driedger A, et al. Microplastics pollution in the Great Lakes ecosystem: Summary of presentations at IAGLR 2014. In: 57th Annual Conference on Great Lakes Research (IAGLR 2014), Hamilton, Ontario
78 Browne M A, Dissanayake A, Galloway T S, et al. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). Environ Sci Technol, 2008, 42: 5026–5031
79 Farrell P, Nelson K. Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). Environ Pollut, 2013, 177: 1–3
80 Hämer J, Gutow L, Köhler A, et al. Fate of microplastics in the marine isopod *Idotea emarginata*. Environ Sci Technol, 2014, 48: 13451–13458
81 von Moos N, Burkhardt-Holm P, Köhler A. Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. Environ Sci Technol, 2012, 46: 11327–11335
82 Setälä O, Fleming-Lehtinen V, Lehtiniemi M. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. Environ Pollut, 2014, 185: 77–83
83 Tanaka K, Takada H, Yamashita R, et al. Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. Mar Pollut Bull, 2013, 69: 219–222
84 Cole M, Lindeque P, Fileman E, et al. Microplastic ingestion by zooplankton. Environ Sci Technol, 2013, 47: 6646–6655
85 Goldstein M C, Rosenberg M, Cheng L. Increased oceanic microplastic debris enhances oviposition in an endemic pelagic insect. Biol Lett, 2012, 8: 817–820
86 Kaposi K L, Mos B, Kelaher B P, et al. Ingestion of microplastic has limited impact on a marine larva. Environ Sci Technol, 2014, 48: 1638–1645
87 Wegner A, Besseling E, Foekema E M, et al. Effects of nanopolystyrene on the feeding behavior of the blue mussel (*Mytilus edulis* L.). Environ Toxicol Chem, 2012, 31: 2490–2497
88 Browne M A, Niven S J, Galloway T S, et al. Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity. Curr Biol, 2013, 23: 2388–2392
89 Besseling E, Wegner A, Foekema E M, et al. Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm *Arenicola marina* (L.). Environ Sci Technol, 2012, 47: 593–600
90 Ugolini A, Ungherese G, Ciofini M, et al. Microplastic debris in sandhoppers. Estuar Coast Shelf Sci, 2013, 129: 19–22
91 Chua E M, Shimeta J, Nugegoda D, et al. Assimilation of polybrominated diphenyl ethers from microplastics by the marine amphipod, *Allorchestes compressa*. Environ Sci Technol, 2014, 48: 8127–8134
92 Lusher A L, McHugh M, Thompson R C. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. Mar Pollut Bull, 2013, 67: 94–99

93 Oliveira M, Ribeiro A, Hylland K, et al. Single and combined effects of microplastics and pyrene on juveniles (0+ group) of the common goby Pomatoschistus microps (Teleostei, Gobiidae). Ecol Indic, 2013, 34: 641–647
94 Rochman C M, Kurobe T, Flores I, et al. Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. Sci Total Environ, 2014, 493: 656–661
95 Bejgarn S, MacLeod M, Bogdal C, et al. Toxicity of leachate from weathering plastics: An exploratory screening study with Nitocra spinipes. Chemosphere, 2015, 132: 114–119
96 Liao Q, Qu J S, Wang J P, et al. Pollution analysis of plastic and improving proposal in marine environment (in Chinese). World Sci-Tech Res Develop, 2015, 37: 206–211 [廖琴, 曲建升, 王金平, 等. 世界海洋环境中的塑料污染现状分析及治理建议. 世界科技研究与发展, 2015, 37: 206–211]
97 Zhao S J, Wang H Y, Liu J. Influence of microplastics pollution on marine environment (in Chinese). Mar Sci, 2009, 33: 84–86 [赵淑江, 王海雁, 刘健. 微塑料污染对海洋环境的影响. 海洋科学, 2009, 33: 84–86]

Progress on microplastics pollution and its ecological effects in the coastal environment

ZHOU Qian[1,2], ZHANG HaiBo[1,2], LI Yuan[1,2] & LUO YongMing[1,2]

[1] *Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China*;
[2] *College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*

Microplastics are emerging pollutants in marine and coastal environments and are of concern worldwide. This paper systematically summarizes the research progress on microplastics pollution and its ecological effects in the coastal environment around the world during the past ten years. There remain some key technical points that need to be solved urgently to study mircroplastics pollution, including highly efficient and accurate separation and identification methods and reliable source identification techniques and models. Future hot topics in this field of study are likely to include: the spatial and temporal distribution of microplastics in the coastal environment based on hydrodynamic models of ocean currents and tides; binding and release mechanisms of toxic pollutants with respect to the surface characteristics of microplastics; and methodology and databases for ecotoxicology and human health assessment of pollution with microplastics alone and in combination with toxic pollutants. Future research on microplastics pollution in the coastal environment will thus be subject to the integration of the international occurrence of plastics pollution and the development of key techniques to study the status of microplastics pollution in the coastal environment. On this basis prospective studies may focus on investigation of and monitoring of microplastics in the coastal environment, the combined occurrence of microplastics with other emerging pollutants, the transfer and bioaccumulation of microplastics and their combined pollutants among the different trophic levels, and the management of microplastics pollution. All these topics will contribute to filling the knowledge gap in mircroplastics pollution and promote the development of appropriate regulatory mechanisms.

microplastics, coastal environment, combined pollution, ecological effects

doi: 10.1360/N972015-00714