

海洋中微塑料的生态危害与控制对策

Ecological hazards and relevant control countermeasures of microplastics in the ocean

■文 / 孟范平



塑料是合成树脂在一定的温度和压力下发生加聚或缩聚反应而形成的一类高分子聚合物,包括聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)、聚苯乙烯(PS)、聚氯乙烯(PVC)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)、聚酰胺(PA)等。塑料制品因具有多功能性、耐久性、气密性、防潮性、热塑性以及成本低等优点,在包装、建筑施工、运输、电气和电子设备、农业、医疗设施、体育以及人们日常生活等领域被广泛应用。近半个多世纪以来,全球的塑料产量持续上升,20世纪50年代为170

万吨,2014年为2.99亿吨,2016年达到3.35亿吨。塑料制品的大量使用以及废塑料的不当处置,导致其不断进入海洋环境中,其数量占海洋垃圾的80%-85%。这些塑料不会彻底“消失”,它们在紫外线和较低温度下分解成更小的碎片,即微塑料。美国国家海洋和大气管理局(NOAA)将微塑料定义为粒径小于5毫米的塑料颗粒,其化学性质稳定,可通过多种途径进入海洋生物体内,沿食物链传递并富集到较高水平,对海洋生态系统的潜在影响极大,因而成为全球最为关

注的环境问题之一。

一、微塑料分类及其在海洋中的分布

(一) 分类

微塑料按其来源可分为原生和次生两类。原生微塑料大多来自工业生产和生活用品,这些材料中含有很多微米级或纳米级的颗粒,可直接以细颗粒形式通过地表径流、废水处理厂或生活和工业排水系统排放到环境中。例如,人们日常使用的皮肤护理品和化妆品(去角质产品和洗面奶)、牙膏和洗涤液中,含有一种被称为“塑料微珠”的细微塑料,由于其粒径较小,使用后即随着生活污水外排。英国环境审计委员会指出,每使用一次含有塑料微珠的洗漱产品,就会产生10万个塑料微珠。合成纤维衣物中的纤维粒子在洗涤过程中脱落,因此,洗衣废水中也含有大量的微塑料。同时,工业企业生产这些生活用品所排废水中也含有一定数量的微塑料。目前,市政污水处理厂所采用的处理工艺主要是针对污水中氮、磷、化学需氧量等常规污染物的去除,并未就微塑料去除进行专门设计。有研究发现,上海市两个大型污水处理厂进水中微塑料的浓度分别为226个/升和172个/升,出水中的微塑料去除率分别约为63%和60%,表明仍有相当多的微塑料随出水直接或者经河流进入海洋中。据估计,世界上每年生产的微塑料约有245吨,它们最终会进入水体中。另一方面,较大的塑料制品或塑料碎片进入环境后,在物理因素(如风、浪、洋流造成的机械磨损)、化学因素(如太阳紫外线辐射造成的光降解)和生物因素(如细菌、真菌的生物降解)的共同作用下,其结构完整性受到破坏,逐渐破碎成较小的碎片,形成大量的次生微塑料。在阳光充足的海滩上这种风化作用尤为明显。

(二) 分布

现在全球海洋中,从海洋表面到海底乃至深海沉积物中均能发现微塑料的存在,其形状有颗粒、纤维状、薄膜、碎片等多种。在受人类活动影响较大的河口、海岸和近海海域,小至微米级大到毫米级的微塑料丰度均较高。即使是人迹罕至的地区(如北极和南极等)也不能免受微塑料的污染。例如,北冰洋的漂浮塑料总量估计在100-1200吨,且绝大部分为塑料碎片。

密度较低微塑料主要漂浮在海面上。据估计,

目前约有5.25万亿个塑料碎片漂浮在海洋中,重量为3.5万-27万吨。微塑料可随洋流输送并在环流区积聚。目前,全球海洋中已确定的塑料堆积区有5个,其中,2个位于大西洋(北部和南部),2个位于太平洋(北部和南部),1个位于印度洋。北太平洋是目前开展微塑料研究最多的区域,其副热带环流区的微塑料密度最大值约为250毫克/立方米。

当微塑料的密度大于海水密度时,将下沉并混杂在沉积物中。微塑料表面在较短时间内会附着大量微生物,所形成的生物膜会使其亲水性增加和密度增大促进沉降。因此,海洋沉积物中往往存在着极高浓度的微塑料。在微塑料影响严重的海滩上,它们的重量可达到沉积物重量的3.3%。还有研究发现,海滩表层的微塑料占沉积物中微塑料总丰度的比例不足10%,而海滩下层沉积物的微塑料污染更为严重。

二、微塑料对海洋动植物的危害

微塑料几乎对海洋中各类生物均会产生不利影响。掌握微塑料的海洋生态效应,有助于正确认识这种新型污染物的环境风险。

(一) 海洋动物

微塑料被海洋动物摄入的程度与其类型、大小、形状、密度等因素有关,其中,微塑料颗粒大小是最关键的影响因素。在摄食过程中,海洋动物(鱼类、贝类、海鸟、哺乳动物等)无法分辨微塑料(粒径小于5毫米)与水中食物(浮游植物个体大小5-50微米,浮游动物中桡足类个体小于3毫米)的差异,导致各种微塑料极易被误食,并分布于胃、肠道、消化管、肌肉等组织和器官甚至淋巴系统中。例如,研究发现,从苏格兰的克莱德海(Clyde Sea)捕获的挪威龙虾有83%的个体含有微塑料,主要来自渔网纤维;英吉利海峡的10种鱼体内也发现有吞食的微塑料碎片。软体动物特别是双壳类动物因其滤食性也容易摄入微塑料。欧洲的Po河口(意大利)、Tagus河口(葡萄牙)和Amposta-Ebro三角洲(西班牙)等海域采集的贻贝中均存在微塑料。从法国的布列塔尼市场和美国加利福尼亚当地市场获得的太平洋牡蛎样品平均每克分别含有0.47和0.6个微塑料颗粒。中国学者对上海市最大渔市场中9种常见双壳类水产品(产自东部沿海)的调查发现,这些物种的组织中均存在纤维状、碎片状和颗粒状的微塑料,单位质量软组织中



微塑料的含量范围为2.1-10.5个/克(以毛蚶中的含量最大),每个双壳类个体中含有4.3-57.2个微塑料。需要指出的是,除了通过误食而直接进入海洋动物体内外,微塑料还能够在食物链之间通过捕食关系从低营养级生物向高营养级生物转移,并产生生物放大效应,从而威胁到整个海洋生态系统。例如,海洋爬行类动物(海龟等)通过捕食那些体内含有微塑料的甲壳动物、软体动物和鱼类而摄入微塑料。海洋鸟类也能通过这种方式富集微塑料。

摄入体内的微塑料对海洋动物具有诸多不利影响。第一,物理和行为损伤,包括引起窒息、内脏受损、消化道阻塞、摄食能力降低、嗅觉灵敏性和活动能力减弱甚至死亡等。第二,抑制海洋动物生长发育,表现为双壳类动物(牡蛎等)的生殖细胞数量及其活动能力降低;鱼类、桡足类的产卵率和孵化率下降;沙蚕、海胆等的体重、体长减少等。第三,生理生化毒性。微塑料除了因塑料合成过程而含有某些有毒单体和添加剂(抗氧化剂、阻燃剂、抗菌剂、增塑剂等)外,还能从海洋环境中吸附污染物(重金属、石油烃、多氯联苯、多环芳烃等)。例如,将粒径约500微米的塑料颗粒在海水中浸没6天后,其表面吸附的多氯联苯浓度可达到周围海水的十万倍至百万倍。进入生物体的微塑料可在不同组织和器官中富集与转移,并释放这些有毒成分而产生毒性,包括酶活性抑制、氧化应激反应、遗传毒性、神经毒性等。

(二) 海洋植物

海洋植物主要包括单细胞微藻(蓝藻、小球藻、扁藻、角毛藻等)和大型海藻(海带、龙须菜、孔石莼等)。它们是海洋环境的初级生产者,能够利用叶绿素进行光合作用以生产有机物,在海洋生态系统的营养物质循环和能量流动中发挥着重要作用。如果这些处

于海洋食物链最底层的生物受到干扰,将引起营养、食物和捕食平衡的改变从而对高营养级物种造成间接的“自下而上”影响。目前有关微塑料对大型海藻生长影响的研究尚未见报道。而海洋微藻个体微小(5-50微米),微塑料难以直接进入藻细胞内。很多研究证明,在目前的环境浓度水平(约0.5毫克/升)下,微塑料不会影响到海洋微藻的生长和光合作用;只有在极高浓度(10-250毫克/升)下微塑料才会产生明显的毒性效应,表现为光合色素含量及光合效率降低,其致毒机理包括机械损伤(边缘粗糙的微塑料造成细胞壁破损、细胞完整性受损等)和氧化损伤(由微塑料中的单体、添加剂及其吸附的污染物释放而产生的毒性)等。

三、海洋环境中微塑料污染的控制对策

海洋中微塑料数量持续增加造成的海洋生态风险日益受到全球关注。2014年首届联合国环境大会将海洋塑料垃圾污染列为近十年最值得关注的十大紧迫环境问题之一。2015年第二届联合国环境大会进一步将以塑料微珠为主的微塑料污染列为环境与生态科学研究领域的第二大科学问题,表明其与全球气候变化、臭氧层破坏等重大全球环境问题同等重要。2018年,联合国环境规划署将世界环境日的主题确定为“塑战速决”,呼吁世界各国共同对抗一次性塑料污染问题。这样的国际形势为减轻或消除海洋环境微塑料污染营造了一种有利的外部条件。

采取何种行动才能真正解决这一环境问题?主要对策有三方面,一是采用法律手段限制微塑料在工业生产(特别是生活用品)中的使用;二是通过教育手段使全社会重视微塑料的污染危害,并自觉减少塑料材料和微塑料的使用;三是在微塑料污染严重的海

域实施微生物修复技术加以消除。

（一）健全法律

限制微塑料的生产和使用是控制其入海量和生态危害最有效的手段。这需要世界各国制定针对性的法律。2015年,美国国会通过《无微珠水法案》,明令禁止日化用品中含有任何塑料微珠。2018年7月,英国关于禁止在某些去角质、去死皮的个人护理品中添加塑料微珠的禁令正式生效,其中规定,禁止日化公司在护肤品、牙膏及其他洗护产品中使用塑料微珠。2018年6月,日本上议院通过一项减少塑料微珠的法案,要求企业不得在其产品(特别是洗面奶和牙膏)中使用塑料微珠。中国目前海洋垃圾(塑料是其中的主要类型)密度较高区域主要分布于旅游休闲娱乐区、农渔业区、港口航运区及邻近海域。根据生态环境部发布的《2018年中国海洋生态环境状况公报》,中国在渤海、黄海和南海海域的漂浮微塑料平均密度为0.40-1.09个/立方米,主要为碎片、纤维和线,成分主要为聚丙烯、聚乙烯和聚对苯二甲酸乙二醇酯。过去20多年来,中国颁布实施的《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《中华人民共和国清洁生产促进法》、《中华人民共和国循环经济促进法》等法律中,虽然对农用地膜等塑料制品科学使用和回收利用做出要求,但是,针对微塑料污染管控的法律法规尚未见到,无法从国家层面对工业产品中微塑料的使用进行限制。因此,制定微塑料污染源控制方面的法律已成为十分紧迫的事情。

（二）公众教育和参与

目前,中国对于海洋微塑料污染及其生态效应的关注仅限于科学研究层面。例如,国家自然科学基金委员会先后立项资助数十项科研项目,科技部也将“海洋微塑料监测和生态环境效应评估技术研究”作

为重点研发计划予以立项支持。但是,消除海洋微塑料污染并非某一部分人员或某一行业的事情,需要全社会的重视和参与。与一般塑料材料相比,公众很少或根本没有认识到微塑料可能带来的危害。因此,亟需在学校、公共场所、企事业单位和政府部门开展各种形式的宣传教育,以提高公众意识,在全社会形成减少原生微塑料使用的氛围。特别是,政府应对实施原生微塑料削减生产工艺的企业给予政策倾斜,鼓励企业积极采用天然替代品(如核桃壳、海盐和杏核等),从根源上消除微塑料对环境的影响。

（三）利用生物修复技术降解海洋中的微塑料

通过生物降解消除海洋中微塑料是一类环境友好且有应用前景的方法。某些微生物(细菌、真菌等)可将有机物作为碳源和能源并将其降解为CO₂和水。据报道,土壤中分离出的葡萄球菌、假单胞菌和芽孢杆菌能够降解聚乙烯,黑曲霉、铜绿假单胞菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌能够降解聚对苯二甲酸乙二醇酯和聚苯乙烯;红树林中分离出的芽孢杆菌可在含不同微塑料的培养基中生长并以其作为唯一碳源;聚氯乙烯能被恶臭假单胞菌降解;而波茨坦短芽孢杆菌、链霉菌、斯氏假单胞菌和粪产碱杆菌则能产生降解塑料聚合物的胞外酶。一种海旋孢属海洋真菌在低营养条件下可利用聚乙烯作为底物并将其降解。需要注意的是,这些微生物大多属于淡水物种,其是否适应高盐海洋环境尚未可知,而且有关微生物对微塑料的降解目前只是处于室内研究阶段。为将生物修复技术成功应用于微塑料污染海域,应注重从海洋环境中筛选分离高效降解菌,并对使用条件进行优化,确定其合理高效的海上修复方法。^[12]

作者单位:中国海洋大学环境科学与工程学院

