

滨海城市大气环境中发现多种微塑料及其沉降通量差异

周倩^{1,2}, 田崇国^{1,2}, 骆永明^{1,2*}

1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 海岸带环境过程与生态修复重点实验室, 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

2017-09-08 收稿, 2017-10-07 修回, 2017-10-09 接受, 2017-11-06 网络版发表

中国科学院前沿科学重点研究项目(QYZDJ-SSW-DQC015)和科技部重点专项(2016YFC1402202)资助

摘要 微塑料污染已成为全球高度关注的海陆环境问题. 微塑料的大气污染研究在国际上鲜见报道, 在中国尚属空白. 本文基于大气沉降样品的收集和分析, 报道了中国滨海城市大气环境中微塑料的类型、沉降通量及季节性变化的研究成果. 分离和鉴定结果表明, 采样点大气环境中微塑料有4种形貌类型, 即纤维类、碎片类、薄膜类和发泡类, 绝大部分为纤维类, 占95%; 这些微塑料的主要成分为聚酯(纤维类)、聚氯乙烯(纤维类和薄膜类)、聚乙烯(碎片类)和聚苯乙烯(发泡类). 在粒径上, 春、夏、秋、冬四季均以小于0.5 mm的颗粒为主, 占50%以上. 大气微塑料沉降通量可达 1.46×10^5 个/(m² a), 其中纤维类达 1.38×10^5 个/(m² a); 不同类型微塑料的沉降通量变幅在 $0 \sim 6.02 \times 10^2$ 个/(m² d), 以纤维类的最高. 微塑料沉降通量存在季节性差异, 春、夏、冬季较高, 秋季最低. 本研究认为滨海城市大气环境中微塑料可能会通过沉降进入陆海环境, 成为海洋和海岸环境中微塑料的重要来源, 未来需要加强大气环境微塑料污染特征、沉降规律及生态效应的系统研究.

关键词 微塑料, 滨海城市, 大气环境, 形貌类型, 沉降通量, 季节性变化

近10年来, 微塑料污染逐渐成为全球关注的环境问题. 特别在海洋和海岸环境中, 水体、土壤、沉积物、生物体内微塑料的类型、丰度、分布、来源及生物效应等研究报道越来越多^[1-7]. 但对于大气环境中微塑料的研究, 一直被忽视.

大气环境中存在有机碳、浮尘、化石燃料飞灰、碳酸钙、海盐以及动植物碎屑等, 并能够远距离运输^[8]. 最近, Dris等人^[9]观察到法国巴黎大气中存在合成纤维、混合纤维、天然聚合物(人造丝、醋酸纤维素等)和天然纤维(棉花、羊毛)等, 认为室内空气微塑料(纤维)污染可能是大气环境中微塑料的重要来源^[10]. 我们推测, 大气环境中可能存在更多的微塑料类型, 会沉降在陆地, 也能通过大气输送沉降 to 海洋, 这可能是陆海环境微塑料来源的重要途径. 据

此, 本研究在我国滨海城市烟台, 探索性地设置了一个观测点, 进行被动采样, 收集和分析了大气沉降样品中微塑料. 本文报道了基于该观测点的大气中微塑料类型、丰度、组成、沉降通量和一年四季动态变化的研究结果, 为探讨大气环境微塑料污染和评估其对陆海环境微塑料的贡献提供新依据.

1 材料与方法

(i) 大气沉降微塑料样品收集. 大气微塑料沉降样品采用大气被动采样器收集(图1), 该装置主要由收集柱、承接管和终端收集瓶三部分组成, 通过收集柱收集大气沉降的物质(包括降水、灰尘和微塑料等), 再通过承接管进入底部的终端收集瓶中. 观测点位于中国科学院烟台海岸带研究所内草坪上1.8 m

引用格式: 周倩, 田崇国, 骆永明. 滨海城市大气环境中发现多种微塑料及其沉降通量差异. 科学通报, 2017, 62: 3902-3909

Zhou Q, Tian C G, Luo Y M. Various forms and deposition fluxes of microplastics identified in the coastal urban atmosphere (in Chinese). Chin Sci Bull, 2017, 62: 3902-3909, doi: 10.1360/N972017-00956

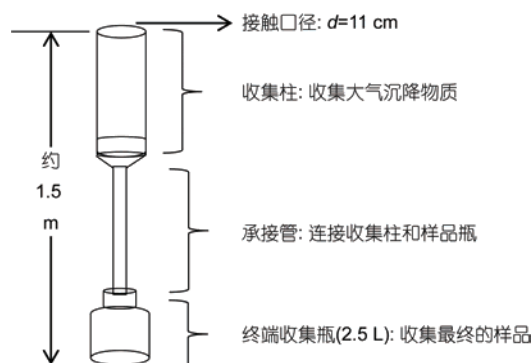


图1 大气微塑料被动采样器

Figure 1 The passive sampler of atmospheric microplastics

处(37°28'21.53"N, 121°26'29.49"E), 距离烟台四十里海湾(黄海海域)约1.6 km; 按季节分别在2014年3月1日~6月24日, 6月25日~8月20日, 8月21日~12月8日和12月9日~2015年3月3日, 收集了4个时间段的终端收集瓶中大气沉降微塑料样品, 其水量分别为1375, 2185, 970和555 mL, 大致代表春、夏、秋和冬四个季节。

(ii) 大气沉降样品中微塑料分离和观测. 将收集到的样品进行分离和观测, 分离过程在Dris等人^[9]方法的基础上进行了适当地修改, 即分别使用孔径5和1 mm的不锈钢筛进行预过滤(图2). 通过孔径5 mm的不锈钢筛去除5 mm以上的大块杂质(例如, 昆虫残体等), 挑出丢弃或存档; 再将1 mm不锈钢筛上的残

留物, 风干后置于体视显微镜(Nikon SMZ1270, 日本)下观测, 挑选不同形貌的疑似微塑料, 统计1~2, 2~3和3~5 mm大小的微塑料; 对于预过筛后的<1 mm样品, 使用抽滤装置, 用5 μm孔径的硝酸纤维素滤膜(Whatman AE98, 德国)过滤, 收集滤膜, 风干后在体视显微镜下观测, 挑选和统计更小的微塑料(<50 μm, 50~100 μm, 100~200 μm, 200~300 μm, 300~400 μm, 0.5~1 mm). 由于研究方法的局限性, 很难辨识和鉴定<50 μm的微塑料, 因而也难以统计. 在过滤过程中, 发现春季(3~6月)收集的沉降样品(液态)中长出青苔; 为了避免干扰微塑料的挑选, 用30%的双氧水对春季样品进行消解(70℃, 6 h), 待消解完全后, 再用滤膜过滤和超纯水冲洗; 收集滤膜, 风干后, 在体视显微镜下挑选. 在上述过程中, 使用的所有容器均预先用超纯水清洗干净并用铝箔封口, 且设置了空白对照, 以评估操作过程中可能带入的微塑料状况. 在空白对照组中, 均未发现疑似微塑料的存在.

(iii) 微塑料样品的成分鉴定. 将收集到的疑似微塑料样品, 根据其形貌类型、颜色进行分类, 从中选取代表性样品, 运用衰减全反射傅里叶红外光谱仪(NICOLET IS5, 美国)和显微傅里叶红外光谱仪(BRUKER LUMOS, 德国), 结合标准谱图库(Hummel Polymer Sample Library; HR Nicolet Sampler Library)进行匹配分析, 鉴定微塑料成分, 同时排除非塑料的样品. 在鉴定过程中, 发现碎片类、薄膜类和发泡类

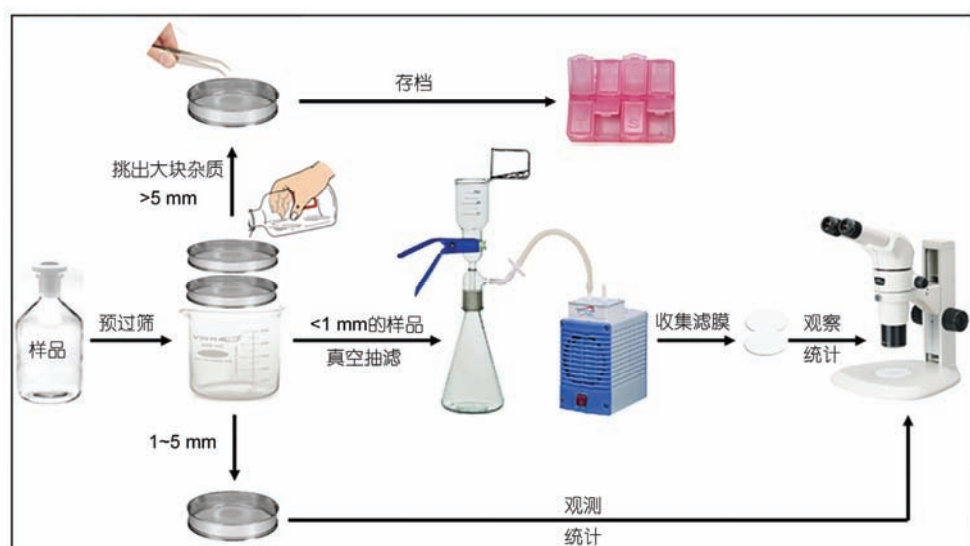


图2 (网络版彩色)大气沉降微塑料样品分离流程与方法

Figure 2 (Color online) Methods and procedures used for separation of microplastics from the atmospheric precipitation samples

成分较为单一, 而纤维类的较复杂; 因而, 专门选取 10 个代表性纤维类样品进行成分分析, 以识别塑料(聚酯、聚氯乙烯等)与非塑料(赛璐玢等)的纤维。

(iv) 微塑料的大气沉降通量计算. 采用每天每平方米微塑料的量表示微塑料沉降通量, 计算公式如下:

$$\text{微塑料沉降通量} = n / (s \times t) \times 10^4,$$

其中, n 为样品中微塑料数量(个); s 为装置收集口面积(cm^2); t 为收集时间(d)。

2 结果

2.1 滨海城市大气环境中微塑料的形貌类型、特征及季节性差异

从滨海城市烟台观测点一年时间内收集的微塑料形貌观察和颗粒分析数据来看, 大气沉降样品存在纤维类、碎片类、薄膜类、发泡类四种形貌类型的微塑料(图3), 其中纤维类所占比例最高, 约占95%以上, 并有白、黑、红和透明等颜色, 而碎片类、薄膜类和发泡类所占比例均很低, 碎片类约占4%, 后两者小于1%(图4)。经傅里叶红外光谱分析表明, 在聚合物成分上, 碎片类为聚乙烯, 薄膜类为聚氯乙烯, 发泡类为聚苯乙烯(图5), 纤维类主要为聚酯(40%)和聚氯乙烯(10%), 但存在非塑料成分(赛璐玢, 30%), 还有部分尚不能确定(可能存在动、植物纤维等, 20%)。在微塑料粒径上, 大气中微塑料以0.5 mm以下居多, 4个季节中该粒径范围的微塑料数量比例均

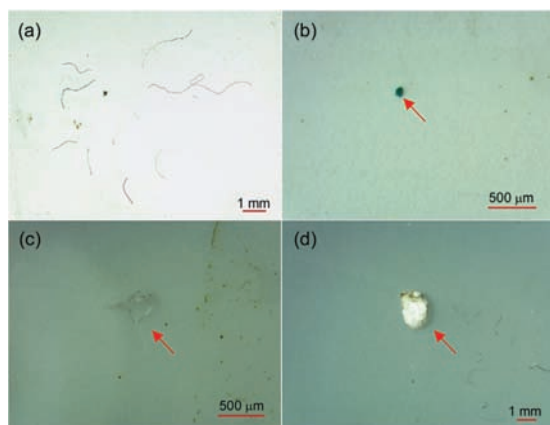


图3 滨海城市大气环境中微塑料的形貌类型. (a) 纤维类; (b) 碎片类; (c) 薄膜类; (d) 发泡类

Figure 3 The different shape types of microplastics in the coastal urban atmosphere. (a) Fibers; (b) fragments; (c) films; (d) foams

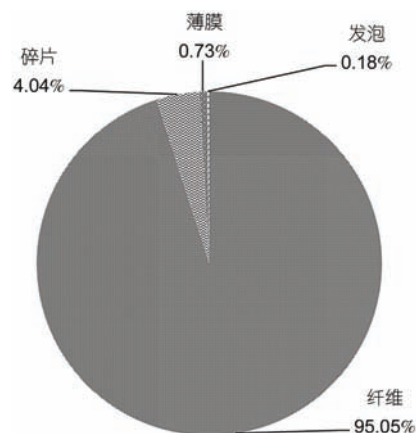


图4 滨海城市大气环境中不同形貌类型微塑料的数量比例

Figure 4 Composition of microplastics with various shape types in the coastal urban atmosphere

在50%以上, 其次分布在0.5~1 mm, 然后在1~2和2~3 mm, 而3~5 mm的微塑料只有在春季稍有出现. 总体上, 微塑料的数量随着粒径增大而快速递减(图6). 而粒径在0.5 mm以下的微塑料则多100~300 μm 居多, 约占62%, 50 μm 以下最少(图6), 但这并不意味着粒径在50 μm 以下的微塑料量很少. 由于研究方法的局限性, 更细小的微塑料颗粒因难以辨识鉴定, 在统计过程中被忽略了。

2.2 滨海城市大气环境中微塑料的沉降通量及季节性差异

从烟台采样点的数据看, 一年内大气对地表的微塑料沉降量可达 1.46×10^5 个/ m^2 a, 纤维类为 1.38×10^5 个/ m^2 a, 碎片类、薄膜类和发泡类分别为 6.29×10^3 , 7.65×10^2 , 2.45×10^2 个/ m^2 a. 微塑料的沉降通量在季节上存在差异(图7). 春、夏、冬3个季节的大气微塑料沉降通量较高, 变幅在 $4.84 \times 10^2 \sim 6.24 \times 10^2$ 个/ m^2 d, 但秋季的较低, 只有 1.30×10^2 个/ m^2 d. 不同类型微塑料的每天沉降通量变幅在 $0 \sim 6.02 \times 10^2$ 个/ m^2 d, 且在季节性上也存在较大差异(图8), 总体上, 递减的顺序表现为纤维类>>碎片类>薄膜类>发泡类; 纤维类四季均能检出, 变幅于 $1.15 \times 10^2 \sim 6.02 \times 10^2$ 个/ m^2 d, 而后三者均低于 4.00×10^1 个/ m^2 d, 在有的季节更低, 甚至未能检出。

3 讨论与结论

大气环境中微塑料研究在全球范围非常少, 在中国尚未报道. 目前仅有对法国巴黎市室内空气及

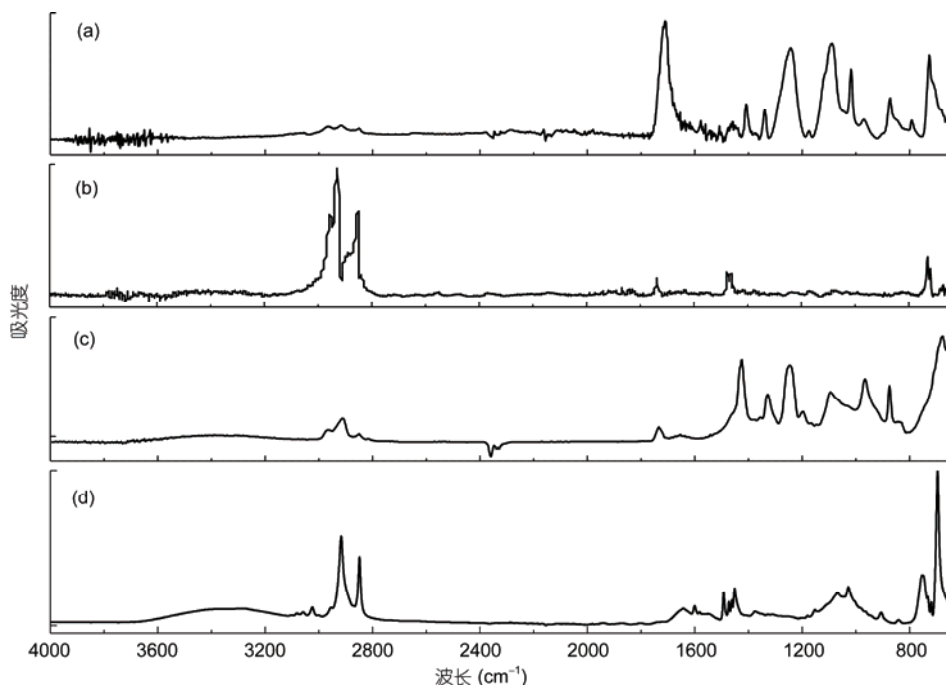


图 5 滨海城市大气环境中不同形貌类型微塑料的傅立叶红外谱图. (a) 纤维类, 聚酯(PET); (b) 碎片类, 聚乙烯(PE); (c) 薄膜类, 聚氯乙烯(PVC); (d) 发泡类, 聚苯乙烯(PS)

Figure 5 Examples of ATR-FT-IR spectra of microplastics with various shape types in the coastal urban atmosphere. (a) Fibers, PET; (b) fragments, PE; (c) films, PVC; (d) foams, PS

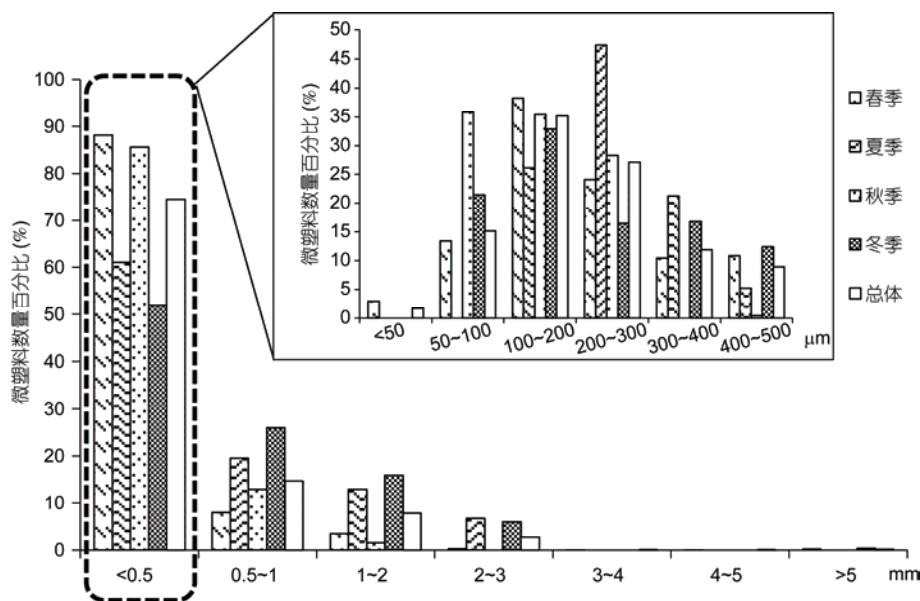


图 6 滨海城市大气环境中不同粒径范围微塑料的数量比例及季节性差异

Figure 6 The abundance percentage (%) of various size classes of microplastics in the coastal urban atmosphere and their changes with seasons

大气微塑料进行调查研究的报道^[9~11]. Dris等人^[9]在巴黎城区及郊区大气中观测到的只有纤维类微塑料. 而本研究在滨海城市烟台市区大气中观测到的不仅

有纤维类, 还有碎片类、薄膜类、发泡类的微塑料, 这是国内外第一次报道. 但有一共同点是无论在法国巴黎市, 还是在中国烟台市, 纤维类微塑料都是占

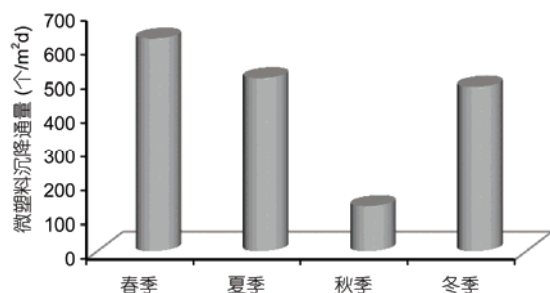


图7 滨海城市大气环境中微塑料沉降通量的季节性差异

Figure 7 Differences in deposition fluxes of microplastics in the coastal urban atmosphere among seasons

绝对优势的;从沉降通量上,本研究所得的远高于法国巴黎研究区的(表1).这可能与收集微塑料的点位及其高度有关.本研究的大气沉降收集装置放置在草坪上,距离地面约1.8 m处,离办公和实验楼约50 m,离家属楼约100 m;而Dris等人^[9]将收集装置置于屋顶,离地面较高.Dris等人^[10]报道,起居室或办公室内空气纤维类微塑料沉降通量可达 $1.60 \times 10^3 \sim 1.10 \times 10^4$ 个/(m² d),认为室内空气中微塑料(纤维类)可能是户外大气环境中微塑料的一个重要来源.据此,本研究中在户外草坪上收集的大气纤维类微塑料约占95%的现象,可能与观测点距离生活区较近

或者与大气中存在微塑料类型及其丰度有关.

本研究指出,不仅大气环境中不同形貌类型微塑料的沉降通量随季节变化,而且不同粒径的微塑料比例也随季节变化.纤维类无论哪个季节都能大量检出,为主要类型;而碎片类、薄膜类和发泡类,有的季节出现未检出现象,为次要类型.大气中的纤维可包括合成纤维、混合纤维、天然聚合物(人造丝、醋酸纤维素等)和天然纤维(棉花、羊毛)等^[9].本文通过运用傅里叶红外光谱分析,区分了聚酯类、聚氯乙烯类塑料纤维和赛璐玢、其他类非塑料纤维.在收集不同季节大气沉降样品时,测量了终端收集瓶中水量(见材料与方法部分).春、夏季样品的水量多,微塑料的沉降通量也高,然而冬季样品的水量最少,但沉降通量并不低,这可能与冬季降雪而清除空气中纤维类微塑料效率高有关.因而,降水量并不是大气中微塑料沉降的主控因素.Dris等人^[9]也注意到类似的现象.从微塑料粒径上,小于0.5 mm的微塑料数量比例最多,在春、秋季的样品中更高,但其他粒径表现出不同状态.烟台地区四季的风向变化以及采样点周边的高楼建筑物等可能也影响到微塑料的沉降.总之,低空大气中不同类型和不同大小的微塑料沉降通量的季节差异,可能受到多种因素的影响,包

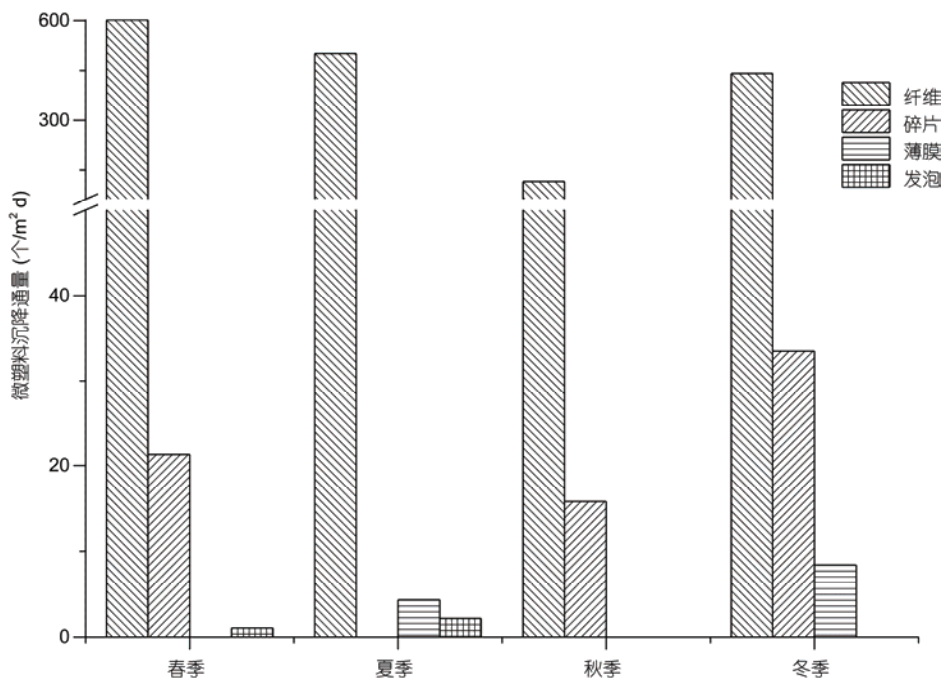


图8 滨海城市大气环境中不同类型微塑料沉降通量的季节性差异

Figure 8 The changes in deposition flux among various types of microplastics in the coastal urban atmosphere with seasons

表 1 大气环境中微塑料沉降相关研究结果比较^{a)}

Table 1 Comparisons of atmospheric deposition fluxes of microplastics among studies

研究地区	研究场所	微塑料类型	微塑料沉降速率(个/(m ² d))	参考文献
巴黎	第十二大学附近大气	—	2.90×10 ² ~2.80×10 ²	[11]
巴黎	城区/郊区大气	纤维	2.00~3.55×10 ²	[9]
巴黎	起居室/办公室内空气	纤维	1.60×10 ³ ~1.10×10 ⁴	[10]
烟台	海岸带研究所草坪大气	纤维、碎片、薄膜、发泡	1.30×10 ² ~6.24×10 ²	本文

a) “—”表示没有测定

括微塑料来源、密度以及采样点位置、气候因素等。

本研究观测到大气环境中纤维、碎片、薄膜和发泡等4类轻质微塑料,这与黄渤海及海岸环境中微塑料类型(颗粒、发泡、碎片、薄膜、纤维)具有相似之处^[12]。本研究监测点离黄海水域只有1.6 km,采样装置离地面仅1.8 m,终端收集瓶离地面0.3 m,可以说本研究所采集的微塑料基本上能反映可沉降到地面或水面(陆、海)的部分;该点单位面积(m²)微塑料年沉降量为1.46×10⁵个,也就是说,每年每平方米的近岸海域可以接受相同数量的来自大气沉降贡献的微塑料。烟台城区海岸线约有100 km,若以本研究观测点为界(距离海岸线1.6 km)和以该点单位面积年沉降量为基数,在该区域每年通过大气沉降获得的微塑料量约为2.33×10¹³个,相当于0.9~1.4 t(假设所有微塑料类型为纤维类,按广泛应用于纺织工业领域中的聚酰胺和聚酯两种塑料聚合物的密度估算,具体方法参见文献[9])。基于同样的假设,在近海一侧,也可以接受相同的大气贡献量。可以初步认为,滨海城市大气环境中的微塑料(特别是纤维类)很可能是海岸和近海海域不同类型微塑料的重要来源。在国际上,已有研究者估算了在法国巴黎2500 km²人口聚集地区的每年大气中沉降的纤维量,约为3~10 t^[9];还有一些研究报道了一些内陆偏远湖泊中微塑料的存在^[13~15]。这都暗示大气环境中微塑料通过输移和沉降

可能成为海洋、湖泊和陆地微塑料的来源。

还需再次强调的是,本采样装置收集大气微塑料的高度仅离地面1.8 m,这几乎与部分人群呼吸空气的高度相当。有证据表明,在人体肺部样本中存在塑料纤维^[16,17]。微塑料是环境有毒有害污染物的载体,也是细菌或病毒的载体^[18~20],从而可使毒害污染物、细菌和病毒通过微塑料(纤维类)在大气环境中传播,有可能被鸟、人体等生物体吸入呼吸道,进入肺部,从而产生健康风险。

基于大气沉降样品的收集和分析,本文率先报道了中国滨海城市(烟台)大气环境中微塑料的类型、沉降通量及季节性变化的研究成果。发现采样点大气环境中存在纤维、碎片、薄膜和发泡4类微塑料,绝大部分为小于0.5 mm的纤维类,主要成分为聚酯(纤维类)、聚氯乙烯(纤维类和薄膜类)、聚乙烯(碎片类)和聚苯乙烯(发泡类)。不同类型微塑料的大气沉降通量变幅较大,存在季节性变化,一年内沉降总量相当可观。滨海城市大气环境中的微塑料(特别是纤维类)很可能是海岸和近海海域微塑料的重要来源。未来需要加强基于多点动态观测数据的建模和评估研究,关注大气环境中微塑料的生态系统和人体的健康风险。本文为国内外深入开展大气环境微塑料及其对陆海环境的贡献评估研究提供了基础数据和研究方法。

致谢 感谢华东师范大学施华宏教授的团队和南京大学季俊峰教授的团队对本文微塑料鉴定方面提供的技术指导与支持。

参考文献

- 1 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
- 2 Su L, Xue Y, Li L, et al. Microplastics in Taihu lake, China. *Environ Pollut*, 2016, 216: 711–719
- 3 Li J, Yang D, Li L, et al. Microplastics in commercial bivalves from China. *Environ Pollut*, 2015, 207: 190–195

- 4 Desforbes 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
- 5 Zhou Q, Zhang H B, Li Y, et al. Research progress on microplastics pollution and its ecological effects in the coastal environment (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2015, 60: 3210–3220 [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]
- 6 Zhou Q, Zhang H B, Zhou Y, et al. Separation of microplastics from a coastal soil and their surface microscopic features (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2016, 61: 1604–1611 [周倩, 章海波, 周阳, 等. 滨海潮滩土壤中微塑料的分离及其表面微观特征. *科学通报*, 2016, 61: 1604–1611]
- 7 Setälä O, Fleming-Lehtinen V, Lehtiniemi M. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environ Pollut*, 2014, 185: 77–83
- 8 Yin W. Research progress of atmospheric particulates and its composition (in Chinese). *Modern Instrum Med Treat*, 2012, 18: 1–5 [尹涓. 大气颗粒物及其组成研究进展. *现代仪器与医疗*, 2012, 18: 1–5]
- 9 Dris R, Gasperi J, Saad M, et al. Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Mar Pollut Bull*, 2016, 104: 290–293
- 10 Dris R, Gasperi J, Mirande C, et al. A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environ Pollut*, 2017, 221: 453–458
- 11 Dris R, Gasperi J, Rocher V, et al. Microplastic contamination in an urban area: A case study in Greater Paris. *Environ Chem*, 2015, 12: 592–599
- 12 Zhou Q. Occurrences and ecological risks of microplastics in the typical coastal beaches and seas (in Chinese), Master Dissertation. Yantai: Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, 2016 [周倩. 典型滨海潮滩及近海环境中微塑料污染特征与生态风险. 硕士学位论文. 烟台: 中国科学院烟台海岸带研究所, 2016]
- 13 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
- 14 Free C M, Jensen O P, Mason S A, et al. High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Mar Pollut Bull*, 2014, 85: 156–163
- 15 Zhang K, Su J, Xiong X, et al. Microplastic pollution of lakeshore sediments from remote lakes in Tibet Plateau, China. *Environ Pollut*, 2016, 219: 450–455
- 16 Stegmeier S. Detection of inhaled cellulosic and plastic fibers in fresh human lung tissue and histopathology sections. Master Dissertation. New York: State University of New York at Buffalo, 1997
- 17 Pauly J L, Stegmeier S J, Allaart H A, et al. Inhaled cellulosic and plastic fibers found in human lung tissue. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev*, 1998, 7: 419–428
- 18 Zhang W, Ma X, Zhang Z, et al. Persistent organic pollutants carried on plastic resin pellets from two beaches in China. *Mar Pollut Bull*, 2015, 99: 28–34
- 19 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
- 20 Reisser J, Shaw J, Hallegraeff G, et al. Millimeter-sized marine plastics: A new pelagic habitat for microorganisms and invertebrates. *PLoS One*, 2014, 9: e100289

Summary for “滨海城市大气环境中发现多种微塑料及其沉降通量差异”

Various forms and deposition fluxes of microplastics identified in the coastal urban atmosphere

ZHOU Qian^{1,2}, TIAN ChongGuo^{1,2} & LUO YongMing^{1,2*}

¹ Key Laboratory of Coastal Zone 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

* Corresponding author, E-mail: ymluo@yic.ac.cn

Pollution by microplastics has become a major global issue affecting the marine environment. However, there has been little research on microplastics in the atmosphere. Here, we study microplastics in precipitation samples collected in Yantai, a coastal city in Shandong Province, East China. This paper is the first report on the different shapes, deposition fluxes and seasonal variation in microplastics in the coastal urban atmospheric environment. The samples collected were pre-filtered using a set of stainless steel sieves with mesh sizes of 5 and 1 mm. Residues, such as insects and plant debris retained on a stainless steel sieve of mesh size 5 mm were discarded or archived. Residues retained on a stainless steel sieve of mesh size 1 mm were air-dried and placed under a stereomicroscope to select and count putative microplastics with different morphologies and different size fractions of 1–2, 2–3 and 3–5 mm. Samples that had passed through a mesh size of 1 mm were filtered again using a 5- μ m pore size nitrocellulose filter for further microscopic observation and the selection and enumeration of smaller microplastics. Some of these samples containing organisms were digested with hydrogen peroxide (30%) to avoid interference during the observation and selection of the microplastics. Putative microplastics were identified using Fourier transform infrared spectroscopy.

Four shape types of microplastics, namely fibers, fragments, films and foams were found in the atmospheric samples. The majority were fibers of different colors (white, black, red and transparent) that accounted for about 95% of the microplastics. Fragments accounted for about 4% and films and foams accounted for fewer than 1%. The main polymers were polyethylene terephthalate in the case of most of the fibers, polyvinyl chloride in the case of some fibers and films, polyethylene for the fragments, and polystyrene for the foams. Microplastics with sizes below 0.5 mm accounted for more than 50% throughout the year, followed by the size ranges 0.5–1 mm, 1–2 mm and then 2–3 mm. Microplastics with size range of 3–5 mm appeared only in the spring samples at low abundance. In general, the amount of microplastics decreased dramatically with increasing particle size. The 100–300 μ m size fraction formed the highest proportion of microplastics below 0.5 mm in size, accounting for about 62%, and those below 50 μ m showed the lowest abundance.

The annual site deposition flux of atmospheric microplastics attained a maximum of 1.46×10^5 n/(m² a), that of the fibers up to 1.38×10^5 n/(m² a), and those of the fragments, films and foams up to 6.29×10^3 , 7.65×10^2 and 2.45×10^2 n/(m² a), respectively. Deposition fluxes of different shape types ranged from 0.0 to 6.02×10^2 n/(m² d), and the fibers were also the commonest of the four shape types. The deposition flux of microplastics showed some seasonal variation, being higher in the spring, summer and winter and lowest in the autumn. Based on the observation site (1.6 km from the coastline), the length of Yantai urban coastline (100 km) and the annual deposition flux in this study, it was estimated that the total number of microplastics deposited in the urban area was about 2.33×10^{13} particles, equivalent to about 0.9 to 1.4 tonnes. We suggest that atmospheric microplastics, through precipitation to land and sea, be a key source of microplastics in the coastal and oceanic environments. Moreover, a systematic study is urgently required in the future for a better understanding of pollution and precipitation of atmospheric microplastics and their environmental impact.

microplastics, coastal city, atmospheric environment, shape types, deposition flux, seasonal variation

doi: 10.1360/N972017-00956