

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2018100301

余厚平, 廖远鑫, 简敏菲, 等. 鄱阳湖五河流域入湖口沉积物中微塑料的赋存特征[J]. 环境化学, 2019, 38(8): 1842-1849.

YU Houping, LIAO Yuanxin, JIAN Minfei, et al. Occurrence of microplastics in the sediments of the five rivers estuaries in Poyang Lake Basin [J]. Environmental Chemistry, 2019, 38(8): 1842-1849.

## 鄱阳湖五河流域入湖口沉积物中微塑料的赋存特征\*

余厚平<sup>1,2</sup> 廖远鑫<sup>1</sup> 简敏菲<sup>1,2\*\*</sup> 李文华<sup>1</sup> 周隆胤<sup>1</sup> 谭佳冰<sup>1</sup> 陈娅萍<sup>1</sup>

(1. 江西师范大学生命科学学院, 江西省亚热带植物资源保护与利用重点实验室, 南昌, 330022;

2. 江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 南昌, 330022)

**摘要** 微塑料是指直径小于 5 mm 的塑料颗粒, 因其性质稳定, 在环境中易大量积累, 已成为新型环境污染物。本研究在鄱阳湖流域重点区域设置 6 个样点, 于 3 月、7 月、12 月等 3 个不同水期采集底泥沉积物样品, 利用连续流动分离浮选装置分离得到微塑料, 借助金相显微镜进行鉴定, 按照形态特征划分微塑料类型, 分析微塑料的赋存特征。结果表明, 依据不同样点微塑料的形态特征可将鄱阳湖流域的微塑料主要类型划分为碎片、薄膜、纤维和发泡类等 4 种类型, 且 4 种不同类型的微塑料在各样点中均有分布, 但不同类型微塑料的丰度存在差异, 以碎片类微塑料占主体。鄱阳湖流域的微塑料丰度值在不同时段存在显著差异, 枯水期微塑料的平均丰度值最高, 达 1105.0 ng·kg<sup>-1</sup>; 平水期的平均丰度值为 729.5 ng·kg<sup>-1</sup>; 而丰水期的平均丰度值为 599.0 ng·kg<sup>-1</sup>。鄱阳湖流域不同区域微塑料的丰度值也存在显著差异, 以赣江中支微塑料的平均丰度值最高, 达到 1455 ng·kg<sup>-1</sup>; 以南矶山自然保护区内的微塑料丰度最低, 仅 54.6 ng·kg<sup>-1</sup>。

**关键词** 鄱阳湖, 沉积物, 微塑料, 赋存特征, 时空分布。

## Occurrence of microplastics in the sediments of the five rivers estuaries in Poyang Lake Basin

YU Houping<sup>1,2</sup> LIAO Yuanxin<sup>1</sup> JIAN Minfei<sup>1,2\*\*</sup> LI Wenhua<sup>1</sup>  
ZHOU Longyin<sup>1</sup> TAN Jiabing<sup>1</sup> CHEN Yaping<sup>1</sup>

(1. College of Life Science, Jiangxi Provincial Key Lab of Protection and Utilization of Subtropical Plant Resources, Jiangxi Normal University, Nanchang, 330022, China; 2. Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research (Ministry of Education), Jiangxi Normal University, Nanchang, 330022, China)

**Abstract:** Microplastics refer to plastic particles less than 5 mm in diameter. They are stable and can accumulate into large amount in the environment, and thus have become a new class of environmental pollutants. In this study, six sampling sites were set up in the key areas of Poyang Lake Basin, and sediment samples were taken in March, July, and December of the same year. The microplastics were separated from the samples by a continuous flow separation flotation device, and then examined with a metallographic microscope. The microplastics in the basin of Poyang Lake were classified according to their morphological characteristics, and the occurrence characteristics of microplastics were analyzed. The results showed that all the microplastics in the basin of Poyang

2018 年 10 月 3 日收稿 (Received: October 3, 2018).

\* 国家自然科学基金 (41461042, 31760161), 江西省自然科学基金 (20171BAB214011) 和江西省教育厅科技计划项目 (GJJ60311) 资助。

**Supported by** the National Natural Science Foundation of China (41461042, 31760161), Jiangxi Provincial Natural Science Foundation of China (20171BAB214011) and the Science and Technology Project of Jiangxi Provincial Education Department (GJJ60311).

\*\* 通讯联系人, Tel: +86-791-88120193, E-mail: jianminfei0914@163.com

**Corresponding author,** Tel: +86-791-88120193, E-mail: jianminfei0914@163.com

Lake could be divided into four different types according to the morphological classification, including fragments, films, fibers, and foams. The above four different microplastics were found in all the sampling sites, but the amounts of different microplastics in different sampling sites were different, and fragments were the most abundant microplastics. The distribution characteristic of different microplastics in the sediments of Poyang Lake Basin were different significantly. The abundance of microplastics was the highest in the dry season, the average abundance value was  $1105.0 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1}$ , the abundance of microplastics was  $729.5 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1}$  in the normal season, and the abundance of microplastics was the least in the wet season, the average abundance value was  $599.0 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1}$ . The abundances of microplastics in different regions of the Poyang Lake Basin were also significantly different. The abundance of microplastics was the highest in the sampling sites at the middle branch of Ganjiang River, where the average abundance value was  $1455 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1}$ . The abundance of microplastics was the lowest in the sampling sites at Nanjishan Nature Reserve, where the average abundance value was  $54.6 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

**Keywords:** Poyang Lake, sediments, microplastic, occurrence, spatial and temporal distribution.

塑料工业的发展给人们的生产和生活带来了极大便利,塑料制品在人们的日常生活中极其普遍.2013年,中国生产的塑料总量跃居世界第一<sup>[1]</sup>.在工业化和城镇化的过程中,中国一直是塑料制品的使用大国,年排放海洋塑料垃圾约占全球排放塑料垃圾总量的30%,但塑料垃圾的回收率却不及10%<sup>[2]</sup>.由于群众普遍缺乏正确处理塑料垃圾的意识,在中国尚未推广分类整理及回收塑料垃圾.大部分塑料垃圾被丢弃、排放到环境中,经过长时间的暴露后,在阳光、空气、化学物质、水力作用及微生物等因素的作用下逐渐形成塑料碎片或颗粒,当塑料被降解为直径小于5 mm的碎片时,被称之为微塑料<sup>[3]</sup>.微塑料的化学性质稳定,可在环境中稳定存在成百上千年<sup>[4]</sup>,并有可能随着食物链、食物网进入生物体内积累或富集<sup>[5-6]</sup>.

在2014年第一届联合国环境大会上,科学家首次提出微塑料的污染问题<sup>[7]</sup>,达成了“海洋塑料废弃物和微塑料决议”,并提出需要开展有关海洋塑料废弃物和微塑料的相关研究.从那时起,各国开始注意微塑料的污染问题.

鄱阳湖是中国最大的淡水湖泊,位于北纬 $28^{\circ}22'$ 至 $29^{\circ}45'$ ,东经 $115^{\circ}47'$ 至 $116^{\circ}45'$ .流域内面积为16.22万平方公里,其中江西境内面积15.70万平方公里,占江西省国土面积的94.1%.鄱阳湖水系的年径流总量为1460亿 $\text{m}^3$ ,占长江流域的14.5%,占全国的5.1%<sup>[8]</sup>.鄱阳湖在维系区域和国家生态安全中具有重要作用,对于长江流域的调蓄洪水起着重要作用,除此之外,鄱阳湖对于维系候鸟等生物的多样性也有着极其重要的生态学意义<sup>[9]</sup>.

近年来,随着鄱阳湖生态经济区的建设与发展,鄱阳湖作为鄱阳湖生态经济区建设的核心区域,正成为人类活动极其频繁的区域,目前正面临着经济发展、人口增长、工业化、城镇化、渔业活动、生态旅游以及生态保护等多方面的重重压力.生态环境破坏,水污染危害、垃圾污染、水土流失、湿地退化等问题是鄱阳湖正面临的主要生态风险<sup>[10-11]</sup>.在鄱阳湖的赣江、修水、抚河、饶河以及信江等五河水系的各河段两岸随处可见到成片的废塑料垃圾,正对鄱阳湖湿地生态环境及其生态系统构成严重威胁.废弃的塑料进入环境后不易降解,需要漫长的时间在物理、化学或生物等作用下分解成微小的塑料颗粒,而一旦这些塑料分解为微塑料后,就可能随着河流、湖泊等湿地的水力作用、泥沙携带及径流等方式进入到水体环境中<sup>[12]</sup>,并通过长江流域而汇入大海,可能就成为海洋微塑料污染的主要来源之一.

本文选择鄱阳湖五河水系赣江、修水、抚河、饶河以及信江等入湖口,在实地勘察和实验分析的基础上,分析鄱阳湖五河流域微塑料的主要类型;并通过文献比较,对微塑料的来源、类型、时空分布特征进行分析<sup>[13]</sup>.旨在唤起公众对鄱阳湖湿地生态环境的微塑料污染问题有所认识并引起重视,寻求控制微塑料污染的解决办法.

## 1 材料与方法 (Materials and methods)

### 1.1 采样点设置

鄱阳湖典型湿地各采样区设置如下:S1代表永修境内吴城;S2代表赣江中支,S3代表南矶山,S4代

表渡头, S5 代表瑞洪, S6 代表龙口. 6 个样点均是鄱阳湖流域典型湿地区域, 其中吴城南矾山是自然保护区, 渡头、瑞洪、赣江中支、龙口代表受居民生产、生活或受矿山开采影响的区域.

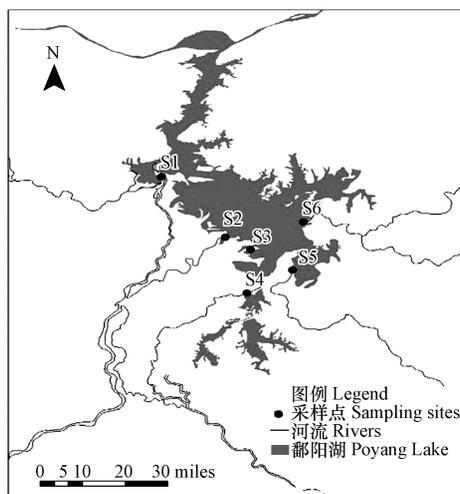


图 1 采样点分布图

Fig.1 Location of sampling sites in study area

## 1.2 采样方法

在以上研究区入湖段随机选择季节性淹没的滩涂地作为采样区, 每个区域各选取 3 块样地, 每块样地随机选取 3 个  $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$  的正方形样方框, 在各方框样点内用不锈钢采样铲挖取深度约为  $5\text{ cm}$  的沉积物, 3 个样点混合样装入采样袋, 每个区域各 3 个混合样运回实验室经预处理后进行分离鉴定, 结果测定后进行统计分析处理. 采样时间分别是 2017 年 3 月、2017 年 7 月、2017 年 12 月, 分别对应鄱阳湖的平水期, 丰水期, 枯水期.

## 1.3 微塑料分离方法

本研究借鉴章海波等学者<sup>[14]</sup>设计的流动分离浮选装置, 该装置由液体储存装置、气体溢流装置、筛分回收装置 3 部分组成, 可以实现微塑料的连续流动分选.

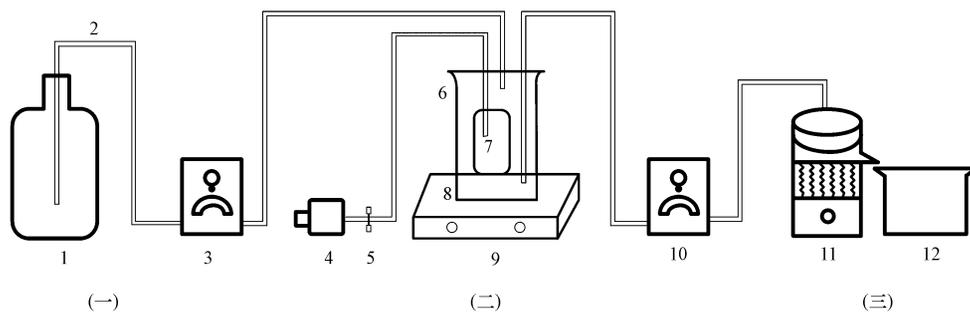


图 2 微塑料流动分离浮选装置

(1. 溶液储存桶; 2. 玻璃导管; 3. 蠕动泵; 4. 空气泵; 5. 气体流量计; 6. 溢流收集杯; 7. 样品杯; 8. 固定支架; 9. 磁力搅拌器; 10. 蠕动泵; 11. 振动筛; 12. 回收槽; (一) 浮选液存储装置; (二) 溢流装置; (三) 筛分回收装置)

Fig.2 Schematic for an apparatus of continuous flow separation flotation for micro-plastics

(1. Solution storage bucket; 2. Glass conduit; 3. Peristaltic pump; 4. Air pump; 5. Gas flowmeter; 6. Overflow collection;

7. Sample cup; 8. Fixed bracket; 9. Magnetic stirrer; 10. Peristaltic pump; 11. Vibration sieve; 12. Recovery tank

(一) Flotation liquid storage device (二) Overflow device (三) Screening Recovery Device)

称取  $1\text{ kg}$  沉积物样品(干重)进行浮选分离, 先用饱和氯化钠溶液(密度为  $1.2\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )持续通入沉积物中进行初次分离浮选, 初次分离浮选后收集到的微塑料仍带有一些有机质和泥土, 再用饱和的氯化钠溶液(密度为  $1\text{—}1.2\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )进行二次分离, 同时加入  $35\%$   $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液除去有机质, 收集上清液, 用真

空抽滤装置过滤,滤膜采用孔径为 2  $\mu\text{m}$  的硝酸-纤维素滤膜,真空抽滤过后,将滤膜置于培养皿中备用。

#### 1.4 鉴定分析方法

采用型号为 4XB 的金相显微镜对二次分离出的样品进行观察、拍照计数.具体做法为:将二次过滤分离收集的样品置于培养皿中于抽风箱内低温烘干,每次观察取一定量(为尽量避免计数的误差性,每次取样遵循多次少量原则)的样品平铺于载玻片上,制好装片,然后利用金相显微镜进行观察检验并拍照。

#### 1.5 电镜扫描-能谱分析方法

把分离好的微塑料颗粒从滤纸上转移到样品台表面固定的双面胶上,对样品进行喷金处理,采用型号为扫描电镜(S-3400N,日本日立电子)-能谱仪,放大倍数 5—30000 倍,加速电压为 15 kV,图像储存像素为 640×480,获得微塑料的 SEM 图像及局部 SEM-EDS 图像,观察微塑料的形貌,分析微塑料的表面孔隙特征<sup>[15]</sup>。

#### 1.6 数据统计方法

滤膜置于金相显微镜下用 10×10 倍镜头观察,将金相显微镜连接电脑拍照,用 Nano Measuer 1.2 软件进行计数,经多次计数后统计微塑料的丰度值,其量纲采用单位干重沉积物样品中微塑料的个数  $n \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[14]</sup>。利用 SPSS 20 软件进行显著性检验,若  $P < 0.05$  代表差异具有显著性统计学意义。

## 2 结果与讨论(Results and discussing)

### 2.1 鄱阳湖流域微塑料的主要类型

不同研究对微塑料的分类依据不同,有的依据来源进行分类,有的依据颜色进行分类,如,Andrady 等<sup>[16]</sup>将微塑料根据其粒级和颜色进行分类.本研究按形态特征将微塑料分为:碎片类、薄膜类、纤维类和发泡类等 4 类,在金相显微镜下观察微塑料(放大比例为 40:1),如图 3。

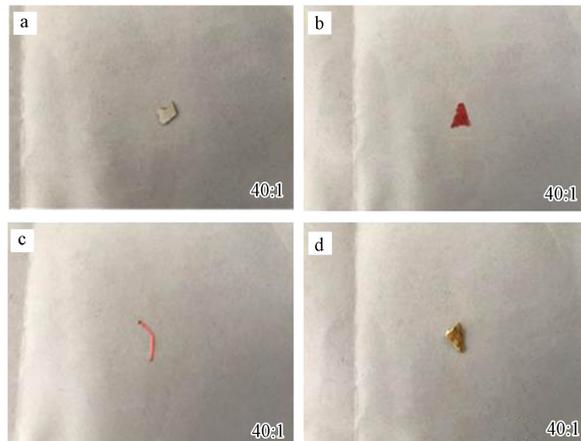


图 3 鄱阳湖流域分离出的 4 类微塑料

a. 碎片类微塑料; b. 薄膜类微塑料; c. 纤维类微塑料; d. 发泡类微塑料

Fig.3 Four kinds of micro-plastic separated from Poyang Lake River Basin

a. Fragments microplastic; b. Films microplastic; c. Fibers microplastic; d. Foams microplastic

图 3 结果显示,不同微塑料不仅形状各异,颜色差异也明显.图 3a 是碎片类微塑料的典型代表,这类微塑料类颜色各异,有白色、蓝色和黑色等不同颜色.形状不规则,有四边形、三角形,也有许多不规则的形状.不同碎片类微塑料的大小差异较大.薄膜类微塑料是轻薄的片状(如图 3b),有些透明无色,有些也带有颜色.但其质地较软,常以卷曲状存在.纤维类微塑料长度不一,颜色多为红色、白色,也有少部分蓝色.形状多为长线型,也有部分弯曲成螺旋形状(如图 3c).纤维类的微塑料硬度较大,在碰触的情况下常会二次碎裂.发泡类微塑料形状也不规则,多呈扁圆状状(图 3d).颜色以白色居多,也有其他的诸如黄色、白色等颜色.有时表面会附着其他的物体.发泡类微塑料当中有一部分是工业的树脂颗粒,多呈圆形,粒径在 2—5 mm 之间。

## 2.2 微塑料的表面孔隙特征

微塑料的表面孔隙是其重要的表现特征之一<sup>[17]</sup>,影响微塑料的表面性质(图4).上述4种微塑料类型均具有不同类型的微孔特征:碎片类微塑料中纵向撕裂程度明显,具有明显的微孔,其微孔长度 $> 50 \mu\text{m}$ ,宽度约为 $10 \mu\text{m}$ ;而薄膜类微塑料和纤维类微塑料表面均嵌有丝状残体,一些均匀裂解形成的微小孔隙,裂纹方向与裂缝呈 $90^\circ$ ,这种一纵一横的裂化使得微塑料表面产生众多块状凸起,形成的孔隙长度在 $10\text{--}50 \mu\text{m}$ 之间.有些孔隙是无规则撕裂形成,孔隙边缘无规则,结构复杂、粗糙且凹凸不平;发泡类微塑料表面隆起,有一定残体且具有孔隙,显著增加了微塑料的比表面积.Corcoran等认为微塑料表面的纹理特征可用于鉴别微塑料表面的易氧化区,与线性裂纹平行的边缘具有优先氧化的特点<sup>[18]</sup>.

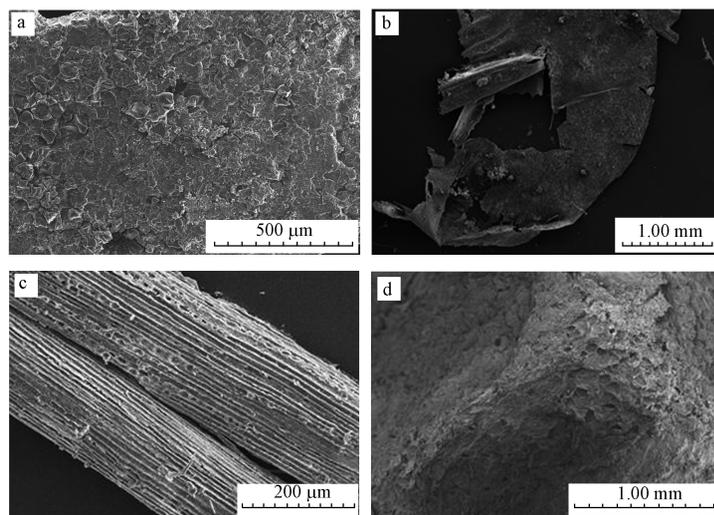


图4 不同类型微塑料局部扫描电镜图

(a) 塑料碎片类微塑料; (b) 薄膜类微塑料; (c) 纤维类微塑料; (d) 发泡类微塑料

Fig.4 SEM images of the microscopic features of the microplastics (a) Plastics Fragments; (b) Films; (c) Fibers; (d) Foams

## 2.3 各样点不同微塑料的赋存比例

4种不同类型的微塑料在各样点采集的样本中均有分布,但不同类型的微塑料比例存在空间差异,如图5所示.其中,各样点多以碎片类微塑料占比为主,除南矾山自然保护区外,其余大部分区域均以碎片类的微塑料比例最高,均接近或超过50%,其中以渡头乡的碎片类比值最高,达到73.6%.其他类型的微塑料在各样点的比值呈现不定性,比值各不相同,且不同微塑料的比例存在显著差异性.

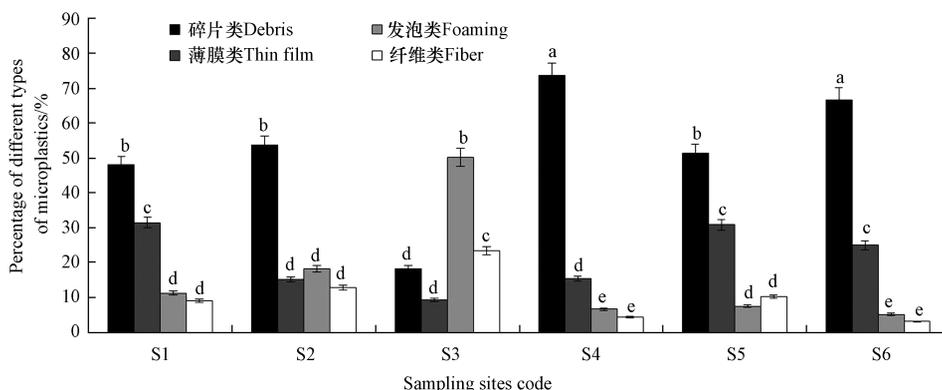


图5 鄱阳湖流域各样点沉积物中不同类型微塑料的比值

注:数据为平均值 $\pm$ 标准误差,不同小写字母表示各处理间差异显著( $P < 0.05$ )

Fig.5 Proportion values of different microplastics in the sediments of Poyang Lake Basin

Notes: Data are means  $\pm$  SE; different lowercase letters mean significant different at 0.05 level ( $P < 0.05$ )

上述不同微塑料的赋存比例与其他文献结果相比,具有一定的相似性及差异性.如,在榕江口自然

沙滩<sup>[19]</sup>以及山东海带状地区<sup>[20]</sup>同样存在纤维类、薄膜类、发泡类等几种微塑料,但是在珠江口地区<sup>[21]</sup>微塑料主要类型是发泡类(数量占90%以上)、也有碎片类以及树脂颗粒,但没有分离到纤维、薄膜等类型的微塑料。

#### 2.4 各区域微塑料的动态变化

调查微塑料丰度能够有效了解研究区域微塑料污染的状况,从而分析不同地区具有不同微塑料丰度的原因以及微塑料的动态变化特征。

鄱阳湖水位受五河水系及长江水位变化的双重影响,1月至4月间为鄱阳湖的平水期,5月至8月间水位开始上涨,最高水位一般在7、8月份之间,这段时间为鄱阳湖的丰水期,9月至12月间水位下降为枯水期,12月左右水位达到最低点。本研究中,3个不同水期采回的沉积物样品带回实验室经鉴定分析后,得到不同水期鄱阳湖流域微塑料的丰度值,结果如图6所示。

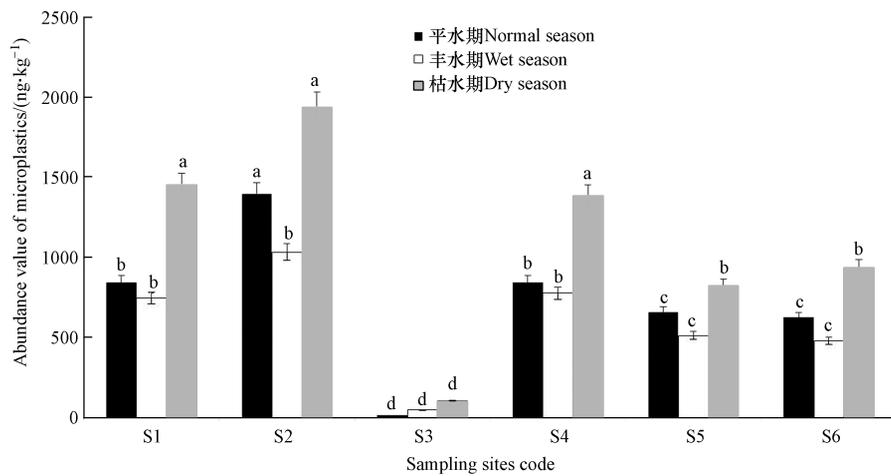


图6 鄱阳湖不同水期各样点沉积物中微塑料丰度值的动态变化

注:数据为平均值±标准误差,不同小写字母表示各处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

Fig.6 Dynamics of abundance of microplastics in the sediments of Poyang Lake Basin in different water time

Notes: Data are means  $\pm$  SE; different lowercase letters mean significant different at 0.05 level ( $P < 0.05$ ).

图6可看出,鄱阳湖进入平水期后,各样点微塑料丰度的平均值为 $729.5 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;而丰水期的丰度平均值约为 $599 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,为全年最低;枯水期微塑料的丰度平均值约为 $1105 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,为全年最高。明显看出,大部分样地微塑料的丰度与水位变化具有相关性,枯水期丰度均显著高于平水期或丰水期( $P < 0.05$ ),枯水期赣江中支微塑料的丰度值显著( $P < 0.05$ )高于其他各样点不同水期微塑料的丰度值;除赣江中支(S2)平水期的微塑料丰度显著高于丰水期( $P < 0.05$ )外,大多数样地平水期与丰水期微塑料的丰度基本一致,无显著差异。表明在枯水期水位下降后,微塑料随沉积物沉降更明显,并可能受人类生产活动的影响也更显著,微塑料的来源更多,从而导致枯水期微塑料丰度呈显著上升。

#### 2.5 各区域微塑料的丰度空间差异

将本研究所调查的6个区域中各样点粒径小于5 mm的微塑料赋存丰度结果与国内外学者相关的研究结果进行比较,结果如表1所示。综合分析不同区域微塑料的赋存结果,存在较显著差异。以邻近南昌市区较近的赣江中支的微塑料丰度平均值最高,达到 $1455 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;其次为吴城与渡头乡微塑料的平均丰度值较高,分别达到 $1013 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1000 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,微塑料污染情况也相对较严重。而作为对照的鄱阳湖国家级自然保护区和南矶山湿地国家自然保护区,微塑料的平均丰度值显著低于其他地区( $P < 0.05$ ),为 $54 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

而国内外其他区域的相关研究显示,Zhao等<sup>[5]</sup>对长江河口调查的微塑料平均丰度高达 $4137 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;Mathalon和Hill<sup>[22]</sup>对加拿大哈利法克斯港的研究结果显示微塑料平均丰度为 $500 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;Claessens等<sup>[12]</sup>在比利时海岸海滩调查得到的微塑料丰度平均为 $120 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。与国内外这些相似区域对比,鄱阳湖流域的微塑料丰度呈中等水平。

表 1 研究区域与文献报道的微塑料丰度比较

Table 1 Comparison of the microplastics abundances in the study area and other reported areas in literatures

研究区域 Research area	微塑料丰度 Microplastics Abundance/(ng·kg <sup>-1</sup> )	数据来源 Data sources
长江河口区域	4137	Zhao, 2015 <sup>[5]</sup>
加拿大新斯科舍省哈利法克斯港	500	Mathalon, 2014 <sup>[22]</sup>
比利时沿海海滩	120	Claessens, 2011 <sup>[12]</sup>
龙口	679	本研究
吴城	1013	本研究
南矾山	54	本研究
赣江中支	1455	本研究
渡头乡	1000	本研究
瑞洪镇	663	本研究

### 3 结论 (Conclusion)

根据形态特征不同,可将鄱阳湖流域各研究区赋存的微塑料类型划分为4种:碎片类、薄膜类、纤维类和发泡类.不同类型微塑料在各区域均有分布,且不同区域、不同类型微塑料的赋存比例差异较显著( $P < 0.05$ ).不同类型微塑料均具有不同的微孔特征:碎片类微塑料具有明显的微孔,且微孔长度 $> 50 \mu\text{m}$ ,宽度约为 $10 \mu\text{m}$ ;而薄膜类微塑料和纤维类微塑料表面均嵌有丝状残体;发泡类微塑料表面隆起,有一定残体且具有孔隙,显著增加了微塑料的比表面积.

鄱阳湖流域不同水期微塑料的赋存丰度存在显著差异,呈现出一定的动态变化特征,枯水期含量显著高于平水期与丰水期( $P < 0.05$ ).以枯水期的赋存丰度值最高,平均值达 $1105 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;其次为平水期,微塑料赋存丰度的平均值为 $729.5 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;而丰水期赋存丰度最低,平均含量为 $599 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

### 参考文献 (References)

- [1] 孙承君, 蒋风华, 李景喜, 郑立. 海洋中微塑料的来源、分布及生态环境影响研究进展[J]. 海洋科学进展, 2016, 34(4): 449-461.  
SUN C J, JIANG F H, LI J X, et al. The research progress in source, distribution, ecological and environmental effects of marine microplastic [J]. Advances in Marine Science. 2016, 34(4): 449-461 (in Chinese).
- [2] 王昆, 林坤德, 袁东星. 环境样品中微塑料的分析方法研究进展[J]. 环境化学, 2017, 36(1): 27-36.  
WANG K, LIN K D, YUAN D X. Research progress on the analysis of microplastics in the environment [J]. Environmental Chemistry, 2017, 36(1): 27-36 (in Chinese).
- [3] 周倩, 章海波, 周阳, 等. 滨海滩涂土壤中微塑料的分离及其表面微观特征[J]. 科学通报, 2016, 61(14): 1604-1611.  
ZHOU Q, ZHANG H B, ZHOU Y, et al. Separation of microplastics from a coastal soil and their surface microscopic features [J]. Chinese Science Bulletin, 2016, 61(14): 1604-1611 (in Chinese).
- [4] SONG Y K, HONG S H, JIANG M, et al. Large accumulation of micro-sized synthetic polymer particles in the sea surface microlayer. [J]. Environmental Science & Technology, 2014, 48(16): 9014-9021.
- [5] ZHAO S, ZHU L, LI D. Microplastic in three urban estuaries, China [J]. Environmental Pollution, 2015, 206: 597-604.
- [6] 汤桂兰, 胡彪, 康在龙, 等. 废旧塑料回收利用现状及问题[J]. 再生资源与循环经济, 2013, 6(1): 31-35.  
TANG G L, HU B, KANG Z L, et al. Current status and problems on waste plastic recycling [J]. Renewable Resources and Circular Economy, 2013, 6(1): 31-35 (in Chinese).
- [7] 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[J]. 世界科技研究与发展, 2015, 37(2): 206-211.  
LIAO Q, QU J S, WANG J P, et al. Pollution analysis of plastic and improving proposal in marine environment [J]. World Sci-Tech R & D, 2015, 37(2): 206-211 (in Chinese).
- [8] 方春明, 曹文洪, 毛继新, 等. 鄱阳湖与长江关系及三峡蓄水的影响[J]. 水利学报, 2012, 43(2): 175-181.  
FANG C M, CAO W H, MAO J X, et al. Relationship between Poyang Lake and Yangtze River and influence of Three Georges Reservoir [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(2): 175-181 (in Chinese).
- [9] 胡振鹏, 葛刚, 刘成林. 越冬候鸟对鄱阳湖水文过程的响应[J]. 自然资源学报, 2014, 29(10): 1770-1779.  
HU Z P, GE G, LIU C L. Response of wintering migratory birds to hydrological processes in Poyang Lake [J]. Journal of Natural Resources,

- 2014, 29(10):1770-1779(in Chinese).
- [10] 周雪玲,熊建秋,简敏菲,等.乐安河-鄱阳湖湿地优势水生植物对重金属污染物的富集作用[J].江西师范大学学报(自然版),2013,37(2):210-215.  
ZHOU X L, XIONG J Q, JIAN M F, et al. Heavy metals accumulation of dominant aquatic plants in the wetland of Lean River and Poyang Lake [J]. Journal of Jiangxi Normal University (Natural Science), 2013, 37(2): 210-215(in Chinese).
- [11] 王圣瑞,舒俭民,倪兆奎,等.鄱阳湖水污染现状调查及防治对策[J].环境工程技术学报,2013,3(4):342-349.  
WANG S L, SHU J M, NI Z K, et al. Investigation on pollution situation and countermeasures in Poyang Lake [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2013, 3(4): 342-349(in Chinese).
- [12] 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: 2199-2204.
- [13] DESFORGES J P, GALBRAITH M, DANGERFIELD N, et al. Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean [J]. Marine Pollution Bulletin, 2014, 79(1-2):94-99.
- [14] 周倩.典型滨海滩涂及近海环境中微塑料污染特征与生态风险[D].烟台:中国科学院烟台海岸带研究所,2016.  
ZHOU Q. Occurrences and ecological risks of microplastics in the typical coastal beaches and seas [D]. Yantai: Yantai Institute of Coastal Zone Research, 2016(in Chinese).
- [15] COLLARD F, GILBERT B, EPPE G, et al. Detection of anthropogenic particles in fish stomachs: An isolation method adapted to identification by Raman spectroscopy [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2015, 69(3):331-339.
- [16] ANDRADY A L. Microplastics in the marine environment [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, 62(8):1596-1605.
- [17] 周隆胤,简敏菲,余厚平,等.乐安河-鄱阳湖段底泥微塑料的分布特征及其来源[J].土壤学报,2018,55(5):1222-1232.  
ZHOU L Y, JIAN M F, YU H P, et al. Distribution of Microplastics and its Source in the Sediments of the Le'an River in Poyang Lake. Acta Pedologica Sinica, 2018, 55(5): 1222-1232(in Chinese).
- [18] CORCORAN P L, BIESINGER M C, GRIFI M. Plastics and beaches: A degrading relationship [J]. Marine Pollution Bulletin, 2009, 58(1):80.
- [19] 王丽斯,吴应林,刘文华,等.榕江入海口自然沙滩微型塑料污染调查研究[J].环境科学学报,2016,36(2):582-589.  
WANG L S, WU Y L, LI W H, et al. Micro-plastic pollution of unspoiled beaches around Rongjiang River estuary [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, 36(2):582-589(in Chinese).
- [20] ZHOU Q, ZHANG H, FU C, et al. The distribution and morphology of microplastics in coastal soils adjacent to the Bohai Sea and the Yellow Sea [J]. Geoderma, 2018, 322(7): 201-208.
- [21] 吕剑,骆永明,章海波.中国海岸带污染问题与防治措施[J].中国科学院院刊,2016,31(10):1175-1181.  
LV J, LUO Y M, ZHANG H B. Coastal zone pollution and its prevention and treatment measures in China [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(10): 1175-1181(in Chinese).
- [22] MATHALON A, HILL P. Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia [J]. Mar Pollut Bull, 2014, 81:69-79.