



水产学报
Journal of Fisheries of China
ISSN 1000-0615, CN 31-1283/S

《水产学报》网络首发论文

题目: 南极南设得兰群岛周边水域侧纹南极鱼胃肠含物微塑料特征及其分布
作者: 高春梅, 曹樟, 严晨冰, 朱国平
收稿日期: 2021-03-02
网络首发日期: 2021-07-08
引用格式: 高春梅, 曹樟, 严晨冰, 朱国平. 南极南设得兰群岛周边水域侧纹南极鱼胃肠含物微塑料特征及其分布. 水产学报.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20210708.1151.002.html>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式 (包括网络呈现版式) 排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊 (光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊 (网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊 (网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物 (ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

南极南设得兰群岛周边水域侧纹南极鱼胃肠含物微塑料特征及其分布

高春梅^{1,2,3}, 曹 樟¹, 严晨冰⁴, 朱国平^{2,4,5,6}✉

- (1. 上海海洋大学海洋生态与环境学院, 上海 201306;
2. 上海海洋大学, 极地研究中心, 上海 201306;
3. 上海海洋大学, 海洋环境监测与评价中心, 上海 201306;
4. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;
5. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 极地海洋生态系统研究室, 上海 201306;
6. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306)

*通信作者 朱国平, E-mail: gpzhu@shou.edu.cn

摘要 海洋微塑料污染是全球性的环境问题, 南极周边海域的微塑料污染问题是其中不可或缺的一环。但目前关于南极微塑料的研究不多, 又多集中于南极附近海水与企鹅粪便等, 对南极海域鱼类体内微塑料研究较少。由于侧纹南极鱼是栖息于南极陆架海域数量最多的中上层鱼类以及在南极海洋生态系统中发挥着承上启下的作用, 因此以南极南设得兰群岛周边海域侧纹南极鱼为研究对象, 探究其体内微塑料污染情况。将南极带回的样品解冻并记录好生物学信息后, 将其胃肠道部分取出。在 60℃ 条件下, 使用 10% KOH 在恒温摇床消解 24 小时以上, 待溶液基本澄清后利用 0.45 μm 的滤膜过滤。将抽滤后置于体式显微镜下, 挑出疑似微塑料, 再使用傅里叶红外光谱仪定性检测, 最后利用扫描电子显微镜拍摄微塑料的微观形貌。结果显示, 南设得兰群岛附近水域侧纹南极鱼体内微塑料平均丰度为 (0.36±0.51) 个/个体。侧纹南极鱼胃肠含物中微塑料丰度与鱼类体长之间存在正相关关系。整体上来说, 南设得兰群岛北侧侧纹南极鱼胃肠含物中微塑料出现的概率略高于布兰斯菲尔德海峡南侧, 但整体上处于低污染水平。侧纹南极鱼体内微塑料类型分为纤维状和碎片状, 以纤维状为主。微塑料颜色以蓝色为主, 其次是黑色, 红色与透明色数量较少。微塑料的平均粒径为 (584.6±419.2) μm, 其中 84.6% 的微塑料粒径均小于 1 000 μm。聚酯类微塑料占比接近 80% 是侧纹南极鱼微塑料的主要成分, 其中绝大多数是聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)。渔船渔网和船员生活污水排放可能是其存在的主要来源。通过电镜分析微塑料表面特征, 发现碎片类微塑料断裂处较为粗糙, 其比表面积显著增加; 两种纤维类微塑料电镜照片说明了微塑料在生物体内的变化。由于较大的比表面积会导致其易于其他污染物结合产生污染, 携带有毒有害物质进入生态系统, 进而通过食物链进入人类生活中, 因此仍需重视微塑料污染带来的生态效应。研究结果丰富了南极海洋生物微塑料研究的基础数据, 可作为本底资料, 为进一步研究南极生态系统微塑料提供科学依据。

关键词 侧纹南极鱼; 微塑料; 南极; 南设得兰群岛

DOI: 10.11964/jfc. 20210312663

Traits and distribution of microplastics in stomach and intestinal tract of *Pleuragramma antarcticum* around the South Shetland Islands

GAO Chunmei^{1,2,3}, CAO Zhang¹, YAN Chenbing⁴, ZHU Guoping^{2,4,5,6}✉

- (1. College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Center for Polar Research, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

收稿日期: 2021-03-02

基金项目: 国家自然科学基金(41776185); 国家重点研发计划(2018YFC1406801)

作者简介: 高春梅, 从事海洋环境化学研究, E-mail: cmgao@shou.edu.cn

Fund: National Natural Science Foundation of China (41776185); National Key R & D Program of China (2018YFC1406801)

网络首发时间: 2021-07-08 16:00:50 网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20210708.1151.002.html>

3. Center for Marine Environmental Monitoring and Evaluation, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

5. Polar Marine Ecosystem Group, Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China;

6. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China)

*ZHU Guoping. E-mail: gpzhu@shou.edu.cn

Abstract Microplastic pollution in the ocean is a global environmental problem, and the microplastic pollution in the waters around Antarctica is an indispensable part of it. However, there are few studies on the microplastics in the Antarctic, most of which focus on the seawater and penguin excrement near the Antarctic. Studies on the microplastics in the Antarctic fish are few, even in *Pleuragramma antarcticum*. *Pleuragramma antarcticum* is the most abundant pelagic fish living in the Antarctic continental shelf waters and plays a role of connecting the preceding with the following in the Antarctic Marine ecosystem, so it is necessary to explore the microplastic pollution in *P. antarcticum* in the waters around South Shetland Islands, Antarctica. After thawing the samples from Antarctica and recording the biological information, the gastrointestinal tract was removed. At 60℃, 10% KOH was used for digestion in a constant temperature shaker for more than 24 hours. After the solution was basically clarified, a 0.45μm filter membrane was used for filtration. Suspected microplastics were picked out after filtration under a type microscope, and then qualitatively detected by Fourier infrared spectrometer. Finally, the microplastic morphology was photographed by Scanning Electron Microscope. The results showed that the average abundance of microplastics in *P. antarcticum* was (0.36±0.51) item/individual in the waters near South Shetland Islands. There was a positive correlation between the abundance of microplastics in the gastrointestinal contents and the body length of the fish. Overall, the northern side of the South Shetland Islands had slightly higher rates of microplastics in their gastrointestinal contents than the southern side of Bransfield Sound, but the overall pollution levels were lower. The types of microplastics in the *P. antarcticum* could be divided into fibrous and fragmentary, and fibrous was the main type. The color of microplastics was mainly blue, followed by black, and red and transparent colors were less. The average particle size of microplastics was (584.6±419.2) μm, 84.6% of which was less than 1 000 μm. Polyester microplastics accounted for nearly 80% of the main components of microplastics in the *P. antarcticum*, most of which were polyethylene terephthalate (PET). The discharge of sewage from fishing nets and crew might be the main source of its existence. The surface characteristics of microplastics were analyzed by electron microscopy which indicated that the fracture area of microplastics was rough and the specific surface area increased significantly. The SEM of two kinds of fibrous microplastics illustrated the changes of microplastics in living organisms. Due to the large specific surface area, it was easy to combine with other pollutants to produce pollution, carry toxic and harmful substances into the ecosystem, and then enter human life through the food chain. Therefore, it was still necessary to pay attention to the ecological effects caused by microplastics pollution. The results of this study made up for the basic data of microplastics research in Antarctic Marine life, and could be used as background data to provide a scientific basis for further research on microplastics in Antarctic ecosystem.

Key words *Pleuragramma antarcticum*; micro-plastics; Antarctic; South Shetlands Islands

塑料诞生于 150 多年前, 其优越的性能得到人类社会的生产和日常生活青睐, 废弃塑料数量也随之急剧攀升, 而塑料在环境中受到人力、风力、光催化等作用分解为微塑料^[1-2]。2004 年, Thompson 等^[3]创造了海洋“微塑料”这一专业术语, 其后通常将尺寸小于 5 mm 的塑料碎片或微粒定义为微塑料^[4]。微塑料存在极为广泛, 包括大气、水体、沉积物、生物体乃至人类体内都有发现^[5-7]。受水流输送、大气循环、自然积累和人为因素等因素影响^[8-10], 微塑料丰度表现出高度的空间差异性, 相对于北半球, 南半球海洋中的微塑料含量显著较低^[11]。尽管最近研究也显示南极近海表层水体^[12]和南极半岛人类活动较为频繁的区域^[13]并未发现微塑料, 但目前关于这片人类活动频率最低的地区中微塑料分布状况的研究极为有限^[14]。

南极鱼类作为寒冷水域生存的特殊鱼类, 独特基因使其具有较高的生态学作用和科研价值^[15]。南京鱼类涵盖南极鱼科(Notothenidae)等 8 个科系^[16], 而南极鱼科又分为南极鱼亚科, 肩孔南极鱼亚科和侧纹南极鱼亚科, 其中侧纹南极鱼(*Pleuragramma antarcticum*)又与其他科系较为亲近^[17]。侧纹南极鱼为栖息于南极陆架海域数量最多的中上层鱼类, 与南极磷虾(*Euphausia superba*)一样在南极海洋生态系统中发挥着承上启下的作用, 尤其是在罗斯海水域, 一方面摄食浮游动物和藻类等, 另一方面又为高营养级捕食者, 如鸟类和海洋哺乳动物等提供物质与能量^[18]。目前, 已有一些学者关注到南极生物体的微塑料含量状况, 其中涉及细菌^[19]、企鹅^[20-21]等方面, 但尚未发现有关于南极鱼类体内微塑料方面的研究。基于侧纹南极鱼的重要性, 本研究通过碱性消解、体式显微镜、傅里叶红外光谱仪和扫描电子显微镜, 分析了南极鱼类体内微塑料的丰度、类别及表面特征, 其研究结果将有利于正确认识南极海域生物体内及海水中微塑

料污染状况,有利于南极渔业资源养护与生态环境健康状况的评估,具有较高的科学价值和实际意义。

1 材料与方法

1.1 样品采集

样本来自于南极磷虾渔业拖网船“福荣海”轮开展科学观察工作时采集,采集地点位于南极半岛以北的南设得兰群岛周边水域(图 1)。随机由 7 个拖网网次中采集 73 尾侧纹南极鱼。采集时间为 2019 年 3 月 29 日—6 月 9 日。鱼类样品分别利用铝箔袋封装,置于-20℃下冷冻保存,以待后续分析。

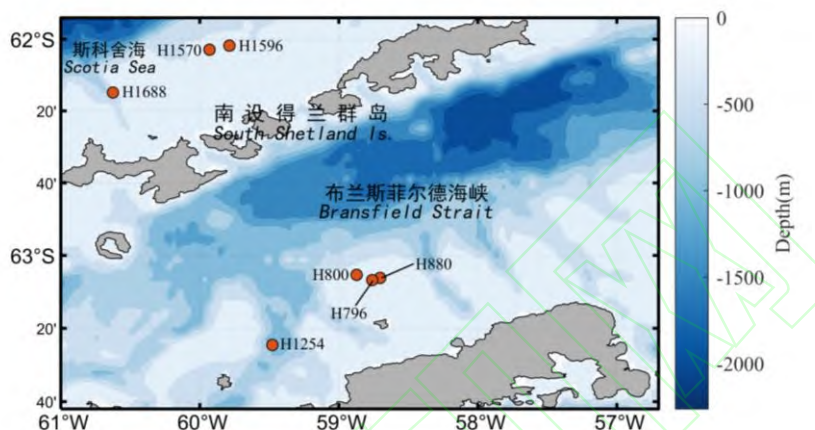


图 1 南设得兰群岛及取样站位
Fig. 1 South Shetland Islands and the sampling locations

1.2 样品制备与微塑料提取

返回陆基实验室后,将侧纹南极鱼样本取出后置于铝箔纸上解冻,测量并记录生物学数据。样本解剖后取其胃及肠道,置于锥形瓶中等待消解。本实验采用消解效果好、可重复性高的 KOH 碱性消解法^[22],向含有样品的锥形瓶中加入 100 mL 10% KOH 溶液,并在 60℃ 下使用恒温摇床消解 24 h 以上,至溶液基本澄清。利用聚四氟乙烯滤膜(孔径 0.45 μm,直径 47 mm)将消解液抽滤,反复润洗 3 次,润洗液也使用同一滤膜继续抽滤。将抽滤后滤膜放入载膜盒内,贴好标签,保证样品平稳放置,待进一步分析。

1.3 微塑料鉴定与分析

将滤膜置于体式显微镜(Nikon SMZ1500)下进行初步观察,再根据微塑料的物理化学特征(即颜色、硬度、比弹性和结构)进行目视分离。通过调节显微镜倍数,在合适的视野中将滤膜上疑似微塑料挑选至新的滤膜上,以便拍照记录,新的滤膜依然利用载膜盒保存,贴好标签,保证样品平稳放置,待进一步分析。

使用傅里叶红外光谱仪(Nicolet iN10)定性检测滤膜上的疑似微塑料。傅里叶红外光谱仪选用透射模式得到的红外光谱图结合官能团和特征峰等再通过标准物质图谱比对确定聚合物类型。根据检测结果,将确定微塑料转移扫描电子显微镜(日立 SU5000)进行观察拍照,再通过电镜照片分析微塑料的表面形貌特征。

1.4 质量控制

实验期间,为避免交叉污染,操作人员身着 100% 纯棉实验服。所有解剖均在新的铝箔纸上进行,消解过程中使用铝箔纸密封,以确保不会产生空气污染。容器与仪器使用前、后均利用超纯水冲洗 3 次。实验过程中设立空白对照组,尽可能避免使用纤维类与塑料器材,以降低实验室环境玷污样品的可能性。本实验采用聚四氟乙烯滤膜,该材料可避免抽滤时间较长,消解液对滤膜的破化,从而减少样本损失。同时体式显微镜挑选、空白对照组、微塑料定性检测中均未发现聚四氟乙烯纤维,确

保本实验中聚四氟乙烯滤膜并未对实验造成干扰。

1.5 统计分析

73 尾侧纹南极鱼胃肠含物中检测出 417 个疑似微塑料。为进一步确定疑似微塑料及其类型,本研究分别从 73 尾侧纹南极鱼胃肠含物中检测出的疑似微塑料中分个体随机选取 118 个疑似微塑料利用傅里叶红外光谱仪鉴定。经检测其中各类纤维素占 61%,但现阶段依然无法利用光谱分析区分任何纤维素衍生纤维和天然纤维素^[23];因此,确定微塑料计数中排除了所有纤维素纤维。

由于侧纹南极鱼样本个体较小,体重较轻,微塑料丰度指标的参数采用“个/个体”的方式表达。利用广义线性模型(GLM)分析微塑料出现的概率与空间(采样区域)及个体(体长、体重)之间的关系。考虑应变量为二进制变量,本研究采用二项式分布作为联接函数。首先,利用方差膨胀因子(VIF)确定自变量,包括采样位置(loc),其中含南设得兰群岛北侧(NAP)和布兰斯菲尔德海峡南侧(SBS)、鱼类体长(SL)及体质量(WW)之间的共线性。剔除共线性较为明显的变量(体质量)后,本研究利用 GLM 拟合微塑料出现的概率与采样位置和体长之间的关系,并利用赤池信息准则(AIC)检验自变量加入后模型的变化。最终,选择 AIC 最小的模型为最适模型。单因子方差分析(ANOVA)检验解释变量的显著性,显著性水平为显著($P=0.05$)和弱显著($P=0.1$)。所有操作均在 R 4.0.0 软件中进行,使用的程序包包括“MASS”,“car”,“VCD”,“gpairs”和“effects”等。如非特殊说明,本研究中所有数据均以平均值 ± 1 倍标准差表示。

2 结果

2.1 微塑料的空间分布及与个体之间的关系

从南设得兰群岛附近水域侧纹南极鱼($n=73$)中随机抽取 118 个疑似微塑料共确认微塑料 26 个,丰度为 (0.36 ± 0.51) 个/个体,其中南设得兰群岛北侧和布兰斯菲尔德海峡南侧侧纹南极鱼体内的微塑料丰度分别为 (0.33 ± 0.48) 个/个体和 (0.39 ± 0.56) 个/个体。GLM 模型模拟结果显示,侧纹南极鱼胃肠含物中微塑料出现的概率仅与鱼类体长及采样区域之间存在着弱显著的线性关系,即微塑料出现的概率随着体长的增加而增加($P=0.09<0.1$),而南设得兰群岛北侧侧纹南极鱼胃肠含物中微塑料出现的概率略高于布兰斯菲尔德海峡南侧($P=0.06<0.1$) (图 2)。

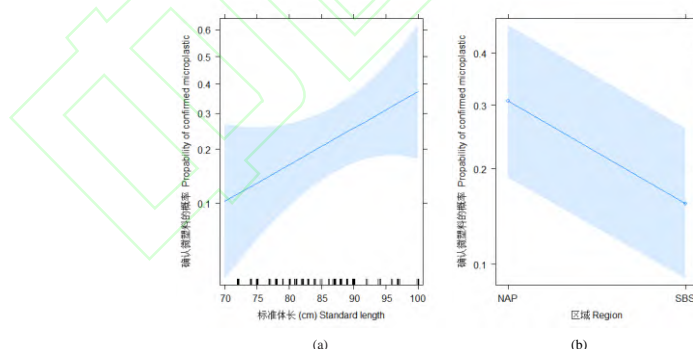


图 2 南极南设得兰群岛周边水域侧纹南极鱼胃肠道微塑料随鱼类体长的变化
sl, 鱼类体长; loc, 采样位置; 阴影部分为 95%置信区间

Fig. 2 Variation in abundance microplastic in stomach and intestinal tract for *P. antarcticum* in the South Shetland Islands, Antarctic

The shaded area signifies 95% confidence interval

相对于全球其他海域海洋生物体内微塑料丰度而言,南极南设得兰群岛水域侧纹南极鱼体内的微塑料丰度仍处于极低的水平(表 1)^[24-34]。突尼斯北部地中海海湾处底栖鱼类叉牙牛眼鲷(*Sarpa salpa*)和浅海中上层鱼类金鲷(*Liza aurata*)体内微塑料丰度显著高于其他生物,比侧纹南极鱼体内微塑料丰度高出 180 多倍,其它生物体内的微塑料丰度基本上相较于侧纹南极鱼高出 1 个数量级。

表1 南极设得兰群岛侧纹南极鱼与世界其它海域生物体内微塑料丰度

Tab.1 Abundance of microplastics in *P. antarcticum* around the South Shetland Islands, Antarctic and oceanic organisms around the world

生物种类 species	海域 Sea area	样本 sample	平均丰度 (个/个体) abundance(n/n)	文献来源 source
短体芦鲷(<i>Calamus brachysomus</i>)等 6 种鱼类(1)	墨西哥马格达莱纳湾	87	0.74	[24]
叉牙牛眼鲷 (<i>Sarpa salpa</i>)	突尼斯北部 (地中海)	10	65.33 ± 6.50 66.40 ± 5.12	[25]
金鲷 (<i>Liza aurata</i>)		10		
斑鲳 (<i>Konosirus punctatus</i>)等 10 种常见海洋生物 (2)	象山湾	105	1.3±1.5	[26]
海鸟幼鸟	北大西洋加那利群岛	85	8.0	[27]
珠带拟蟹手螺 (<i>Cerithidea cingulata</i>) 等 5 类软体动物(3)	波斯湾北部	123	3.7-17.7	[28]
大西洋鲭 (<i>Scomber scombrus</i>)	英吉利海峡与凯尔特海	31	18	[29]
海鸟	加拿大纽芬兰湾	171	0.81 ± 0.30	[30]
澳洲棘鲷 (<i>Acanthopagrus australis</i>) , 鲷 (<i>Mugil cephalus</i>) 和半带银鲈 (<i>Gerres subfasciatus</i>)	悉尼湾	93	2.68	[31]
短尾鹱 (<i>Puffinus tenuirostris</i>)	北斯特布罗克岛	129	3.09	[32]
暴风鹱 (<i>Fulmarus glacialis</i>)	拉布拉多海岸 (北极)	70	11.6	[33]
滨岸护胸鲆 (<i>Hoplosternum littorale</i>)	巴西东北部	48	3.67	[34]
侧纹南极鱼 (<i>Pleuragramma antarcticum</i>)	南设得兰群岛	73	0.36±0.51	本文

注: (1):短体芦鲷(*Calamus brachysomus*)、斑带副鲷(*Paralabrax maculatofasciatus*)、道氏缩口银鲷(*Eucinostomus dowii*)、多鳞鳞鲷(*Balistes polylepis*)、马萨无臂鲷(*Achirus mazatlanus*)、库里鲷(*Mugil curema*); (2): 斑鲳 (*Konosirus punctatus*)、鲷鱼(*Mugil cephalus*)、短棘银鲈 (*Gerres lucidus*) 和斑尾刺虾虎鱼(*Acanthogobius ommaturus*)、鞭腕虾(*Lysmata vittata*)、日本蟳(*Charybdis japonica*)、短蛸(*Octopus ocellatus*)、大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)、缢蛏(*Sinonovacula constricta*)、密鳞牡蛎(*Ostrea denselamellosa*);(3): 珠带拟蟹手螺(*Cerithidea cingulata*)、细腰岩螺(*Thais mutabilis*)、红海仙女蛤 (*Amiantis umbonella*)、紫色仙女蛤(*Amiantis purpuratus*)、射肋珠母贝(*Pinctada radiata*)。

2.2 微塑料类型、颜色与粒径

根据微塑料的形态差异, 将微塑料主要分为纤维状和碎片状 2 种类型, 其中纤维占 96%, 仅 4% 的微塑料为聚苯系物类的物质。微塑料的粒径大小为 59~1862 μm, 平均粒径为(584.6±419.2)μm, 其中 84.6%的微塑料粒径均小于 1 000 μm(图 3)。

微塑料颜色以蓝色为主 (57.7%) 和黑色 (26.9%) (图 3)。结合南极渔业使用的渔网多为蓝色, 由此初步推测部分侧纹南极鱼体内蓝色微塑料为渔网。棕色、黄色、绿色杂质经检测多为生物质如甲壳素与胰蛋白, 灰杂质主要成分是纤维素。

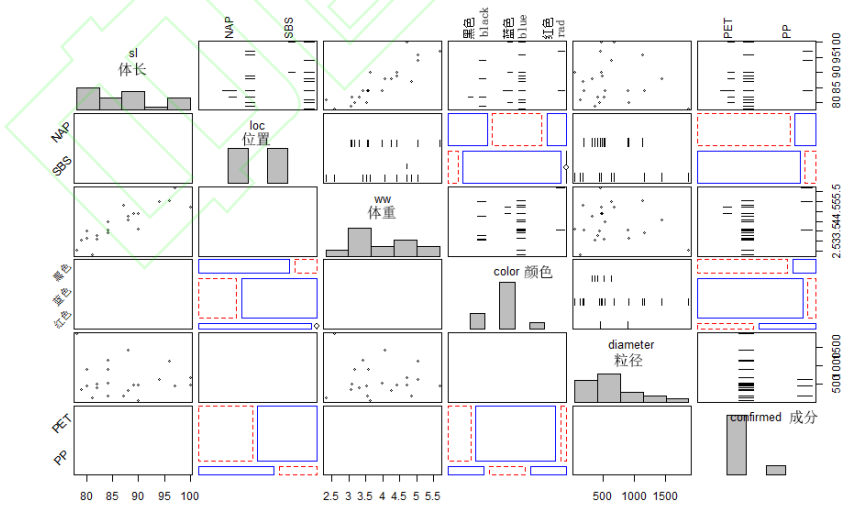


图 3 南极南设得兰群岛周边水域侧纹南极鱼胃肠含物中主要微塑料特性
Fig. 3 Traits of main microplastics in stomach and intestinal tract for *P. antarcticum* in the South Shetland Islands, Antarctic

注: NAP 南设得兰群岛北侧、SBS 布兰斯菲尔德海峽南侧、PET 聚对苯二甲酸乙二醇酯、PP 聚丙烯

2.3 组成成分

聚酯类是微塑料的主要化学组分, 77.0%为涤纶 (PET), 其次是聚丙烯(PP)及其衍生物, 11.5%

为聚丙烯（PP），其他还包括少量的尼龙（PA）和聚丙烯腈（PAN）等（图 4）。

红外光谱检测结果显示，侧纹南极鱼胃肠含物中微塑料主要成分为涤纶（PET）（图 4-a），这可能因其具有高回弹性和耐磨性，主要用作纺织纱线，应用到衣物，渔网等中。海上船只通行时排放的生活废水也携带着大量的衣物纤维，也会产生较多的微塑料污染^[35]。此外，合成纺织暴露在较强的南极紫外线下，容易被光氧化^[36]并进一步分解或降解为纤维状微塑料。因而，侧纹南极鱼体内纤维状微塑料占比极高，与上述原因可能有一定的联系。渔业作业使用的网具多为蓝色，其产生机械磨损会形成微塑料纤维，结合确定微塑料颜色组成中蓝色占比明显提升，推断渔网可能是侧纹南极鱼体内微塑料污染的主要污染源之一。

侧纹南极鱼胃肠含物中微塑料的次要成分为热塑性树脂-PP（图 4-b）。PP 具有较高的化学稳定性、可耐酸碱侵蚀性，为现代生活生产中不可缺少的原材料之一，例如存储袋、薄膜等。由于 PP 用途极为广泛，使得其在自然环境中大量累积。聚乙烯(PE)与 PP 具有难降解和低密度等类似，导致两者在水中占据优势地位^[37]。本研究还发现聚（丙烯酸丁酯）和聚丙烯腈两种聚丙烯衍生物，可见聚丙烯材料的应用性也较广。此外，微塑料污染也可能源于大洋环流和大气循环所输送的陆源微塑料。

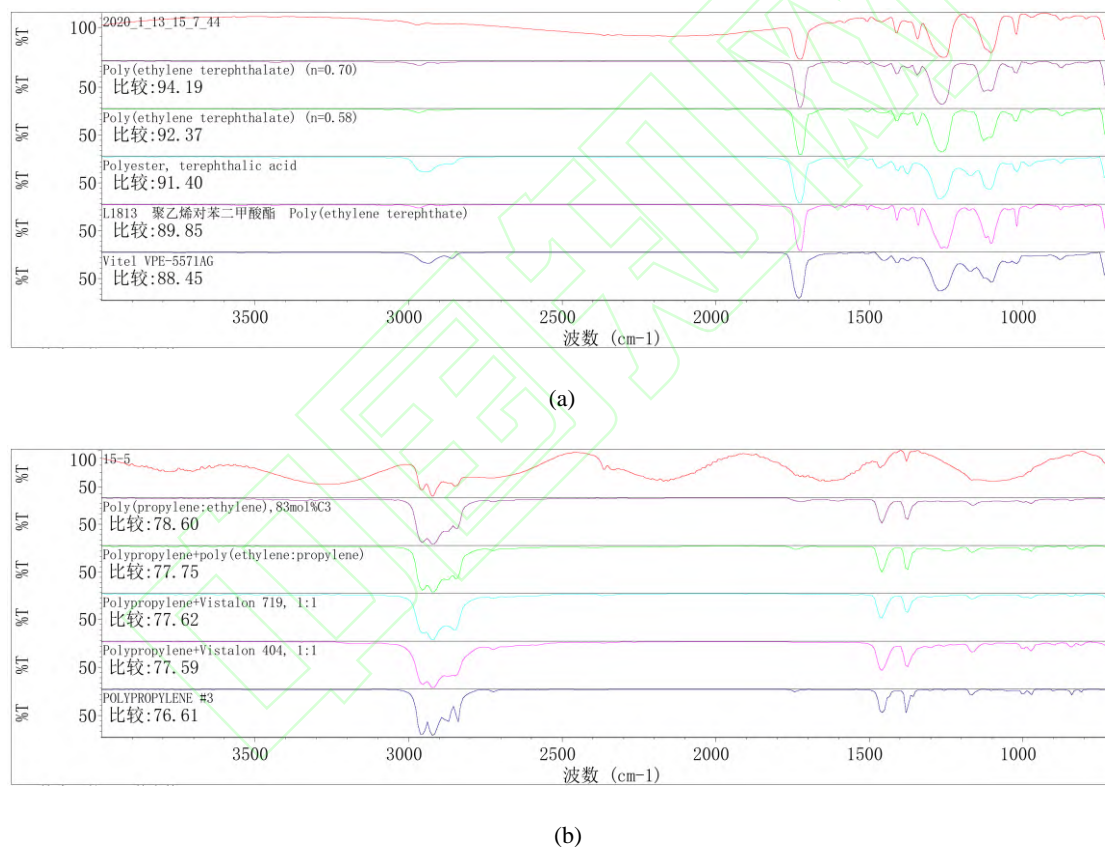


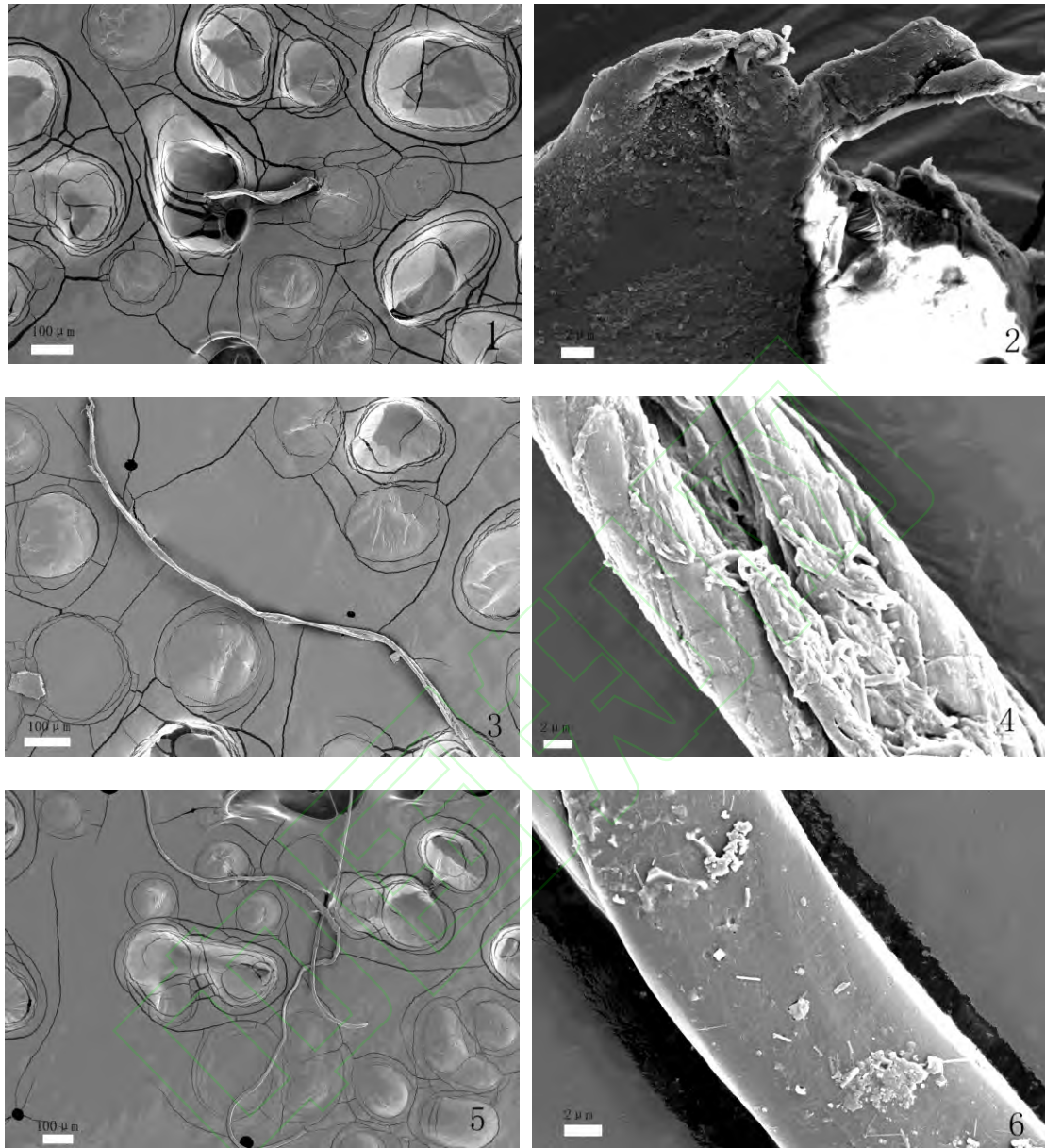
图 4 南极南设得兰群岛周边水域侧纹南极鱼胃肠含物中涤纶和热塑性树脂的红外光谱图

Fig. 4 Infrared spectra of PET and PP in stomach and intestinal tract for *P. antarcticum* in the South Shetland Islands, Antarctic

2.4 表面特征

通过扫描电镜显示，碎片状微塑料表面形貌较扁平，微塑料断裂处较粗糙，表面还存在较多杂质（图版-2）。纤维状微塑料整体表现较为细长，存在两种表面特征差异较大的类别。其中一种微塑料表面出现明显裂解现象，塑料纤维呈杂乱无章式裂解，有逐渐缩小趋势（图版-4）；另一种，整体并未出现明显老化或风化痕迹，表面非常光滑，但也沾染些许杂质（图版-6）。两种纤维状微塑料现状表明了塑料在海水环境中长期受到各种外力综合作用下发生的变化，后续实验可进行微塑料老化程度

鉴定，分析海水环境中不同老化程度微塑料的组成及变化。



图版 南极南设得兰群岛周边水域侧纹南极鱼胃肠含物中的碎片状（1,2）、纤维状（3,4和5,6）微塑料 SEM
Plate SEM images of fragmentary (1,2) and fibrous (3,4 and 5,6) microplastics in stomach and intestinal tract for *P. antarcticum* in the South Shetland Islands, Antarctic

海洋环境中的微塑料通常会受到不断变化的海流冲击和海水侵蚀，部分表层微塑料还会遭受紫外线长时间照射，进而微塑料会继续发生裂化、老化等变化，其表面形貌就会随之改变^[38]，表面变得更加粗糙，出现不规则裂纹、裂片或孔隙，甚至直接分化为更加微小的纳米级微塑料。微塑料的特性为粒径小、比表面积大、疏水性强，因此，水体中的有机污染物易被其吸附并富集^[39]，例如持久性有机污染物（POPs）、抗生素和病原体等。Holmes 等^[40]发现，破旧微塑料在环境中被磨损后表面带有负电荷，更加容易吸附金属阳离子。此外，部分塑料自身含有多种添加剂，较多难生物降解，会延长其在水中的停留时间，且这些添加剂本身也是复杂有机物污染物。这些污染物若被微塑料吸附，会产生复合污染，增加微塑料的危害。微塑料被侧纹南极鱼等食物链低端海洋生物摄取，而这些生物被鸟类和海洋哺乳动物等较高营养级海洋生物捕食，会出现微塑料在食物链中传递并累积的现象，进而加

剧生态污染。同时,海洋生物被商业化捕捞后,微塑料会随着人们的食用进入体内,进而威胁人体健康^[41]。

3 讨论

通过调查分析南极秋季南设得兰群岛附近水域侧纹南极鱼体内微塑料分布情况,研究了其丰度、类型、粒径、颜色、成分及表面特征,探讨了来源以及潜在风险。

南设得兰群岛附近水域侧纹南极鱼体内微塑料平均丰度为 $(0.36 \pm 0.51) \text{ n/n}$ 。侧纹南极鱼胃肠含物中微塑料丰度与鱼类体长之间存在正相关关系。整体上来说,南设得兰群岛北侧侧纹南极鱼胃肠含物中微塑料出现的概率略高于布兰斯菲尔德海峡南侧,但整体上处于低污染水平。

侧纹南极鱼体内微塑料类型分为纤维状和碎片状,以纤维状为主。微塑料颜色以蓝色为主,其次是黑色,红色与透明色数量较少。微塑料的平均粒径为 $(584.6 \pm 419.2) \mu\text{m}$,其中84.6%的微塑料粒径均小于 $1\,000 \mu\text{m}$ 。

聚酯类微塑料占比接近80%是侧纹南极鱼微塑料的主要成分,其中绝大多数是聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)。渔船渔网和船员生活污水排放可能是其存在的主要来源。

通过电镜分析微塑料表面特征,发现碎片类微塑料断裂处较为粗糙,其比表面积显著增加;两种纤维类微塑料电镜照片说明了微塑料在生物体内的变化。由于较大的比表面积会导致其易于其他污染物结合产生污染,携带有毒有害物质进入生态系统,进而通过食物链进入人类生活中,因此仍需重视微塑料污染带来的生态效应。

虽然通过分析得出南设得兰群岛附近海域侧纹南极鱼体内微塑料含量不高,未出现明显的危害,但由于样品量较少,后续建议持续开展南极海域水体及相关生物体内微塑料的研究,探究微塑料与相关生物体其他生物特征之间的相关性分析,为侧纹南极鱼的生存环境,南极海域环境质量及南极海域微塑料污染风险提供依据。

感谢中国辽宁大连海洋渔业有限公司南极磷虾拖网渔船“福荣海”轮船长和船员在样本采集过程中给予的诸多帮助与支持。

参考文献:

- [1] Moore C J. Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat[J]. *Environmental Research*, 2008, 108(2): 131-139.
- [2] Moharir R V, Kumar S. Challenges associated with plastic waste disposal and allied microbial routes for its effective degradation: a comprehensive review[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 208: 65-76.
- [3] Thompson R C, Olsen Y, Mitchell R P, *et al.* Lost at sea: Where is all the plastic?[J]. *Science*, 2004, 304(5672): 838.
- [4] Barnes D K A, Galgani F, Thompson R C, *et al.* Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2009, 364(1526): 1985-1998.
- [5] 李征, 高春梅, 杨金龙, 等. 连云港海州湾海域表层水体和沉积物中微塑料的分布特征[J]. *环境科学*, 2020, 41(7): 3212-3221.
Li Z, Gao C M, Yang J L, *et al.* Distribution characteristics of microplastics in surface water and sediments of Haizhou Bay, Lianyungang[J]. *Environmental Science*, 2020, 41(7): 3212-3221 (in Chinese).
- [6] Huang J S, Koongolla J B, Li H X, *et al.* Microplastic accumulation in fish from Zhanjiang mangrove wetland, South China[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 708: 134839.
- [7] Wright S L, Kelly F J. Plastic and human health: A micro issue?[J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, 51(12): 6634-6647.
- [8] Hitchcock J N, Mitrovic S M. Microplastic pollution in estuaries across a gradient of human impact[J]. *Environmental Pollution*, 2019, 247: 457-466.
- [9] Veerasingam S, Saha M, Suneel V, *et al.* Characteristics, seasonal distribution and surface degradation features of microplastic pellets along the Goa coast, India[J]. *Chemosphere*, 2016, 159: 496-505.
- [10] Zhang K, Xiong X, Hu H J, *et al.* Occurrence and characteristics of microplastic pollution in Xiangxi bay of three Gorges Reservoir, China[J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, 51(7): 3794-3801.
- [11] C  zar A, Echevarr  a F, Gonz  lez-Gordillo J I, *et al.* Plastic debris in the open ocean[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, 111(28): 10239-10244.
- [12] Kuklinski P, Wicikowski L, Koper M, *et al.* Offshore surface waters of Antarctica are free of microplastics, as revealed by a circum-Antarctic study[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 149: 110573.
- [13] Garcia-Garin O, Sala B, Aguilar A, *et al.* Organophosphate contaminants in North Atlantic fin whales[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 721: 137768.
- [14] Isoke A, Uchiyama-Matsumoto K, Uchida K, *et al.* Microplastics in the southern ocean[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 114(1): 623-626.
- [15] 朱国平, 魏联. 南极鱼类年龄与生长研究进展[J]. *水产学报*, 2017, 41(10): 1638-1647.
Zhu G P, Wei L. Age and growth of Antarctic fish species: A review[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(10): 1638-1647 (in Chinese).
- [16] Barrera-Oro E. The role of fish in the Antarctic marine food web: differences between inshore and offshore waters in the southern Scotia Arc

- and west Antarctic Peninsula[J]. Antarctic Science, 2002, 14(4): 293-309.
- [17] 赵娜. 伯氏肩孔南极鱼的种群遗传分析和南极鱼亚目的系统进化[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
Zhao N. Study on phylogenetic of Notothenioidei and genetic diversity of *Trematomus bernacchii* populations[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018 (in Chinese).
- [18] Giraldo C, Cherel Y, Vallet C, *et al.* Ontogenic changes in the feeding ecology of the early life stages of the Antarctic silverfish (*Pleuragramma antarcticum*) documented by stable isotopes and diet analysis in the Dumont d'Urville Sea (East Antarctica)[J]. Polar Science, 2011, 5(2): 252-263.
- [19] Laganà P, Caruso G, Corsi I, *et al.* Do plastics serve as a possible vector for the spread of antibiotic resistance? First insights from bacteria associated to a polystyrene piece from King George Island (Antarctica)[J]. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 2019, 222(1): 89-100.
- [20] Le Guena C, Suaria G, Sherley R B, *et al.* Microplastic study reveals the presence of natural and synthetic fibres in the diet of King Penguins (*Aptenodytes patagonicus*) foraging from South Georgia[J]. Environment International, 2020, 134: 105303.
- [21] Bessa F, Ratcliffe N, Otero V, *et al.* Microplastics in gentoo penguins from the Antarctic region[J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 14191.
- [22] Dehaut A, Cassone A L, Frère L, *et al.* Microplastics in seafood: benchmark protocol for their extraction and characterization[J]. Environmental Pollution, 2016, 215: 223-233.
- [23] Stark M. Letter to the editor regarding "Are we speaking the same language? recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris"[J]. Environmental Science & Technology, 2019, 53(9): 4677.
- [24] Jonathan M P, Sujitha S B, Rodriguez-Gonzalez F, *et al.* Evidences of microplastics in diverse fish species off the Western Coast of Pacific Ocean, Mexico[J]. Ocean & Coastal Management, 2021, 204: 105544.
- [25] Abidli S, Akkari N, Lahbib Y, *et al.* First evaluation of microplastics in two commercial fish species from the lagoons of Bizerte and Ghar El Melh (Northern Tunisia)[J]. Regional Studies in Marine Science, 2021, 41: 101581.
- [26] 于翔, 许莉莉, 刘强, 等. 象山湾常见海洋生物体内微塑料的丰度、形态和成分组成研究[J/OL]. 渔业科学进展, 2020. (2020-06-09). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?doi=10.19663/j.issn2095-9869.20200221002>. Yu X, Xu L L, Liu Q, *et al.* Abundance, shape, and chemical composition of microplastics within ten common marine species in Xiangshan Bay[J/OL]. Progress in Fishery Sciences, 2020. (2020-06-09). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?doi=10.19663/j.issn2095-9869.20200221002> (in Chinese).
- [27] Rodríguez A, Rodríguez B, Carrasco M N. High prevalence of parental delivery of plastic debris in Cory's shearwaters (*Calonectris diomedea*)[J]. Marine Pollution Bulletin, 2012, 64(10): 2219-2223.
- [28] Naji A, Nuri M, Vethaak A D. Microplastics contamination in molluscs from the northern part of the Persian Gulf[J]. Environmental Pollution, 2018, 235: 113-120.
- [29] Nelms S E, Galloway T S, Godley B J, *et al.* Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators[J]. Environmental Pollution, 2018, 238: 999-1007.
- [30] Avery-Gomm S, Valliant M, Schacter C R, *et al.* A study of wrecked Dovekies (*Alle alle*) in the western North Atlantic highlights the importance of using standardized methods to quantify plastic ingestion[J]. Marine Pollution Bulletin, 2016, 113(1-2): 75-80.
- [31] Halstead J E, Smith J A, Carter E A, *et al.* Assessment tools for microplastics and natural fibres ingested by fish in an urbanised estuary[J]. Environmental Pollution, 2018, 234: 552-561.
- [32] Acampora H, Schuyler Q A, Townsend K A, *et al.* Comparing plastic ingestion in juvenile and adult stranded short-tailed shearwaters (*Puffinus tenuirostris*) in eastern Australia[J]. Marine Pollution Bulletin, 2014, 78(1-2): 63-68.
- [33] Avery-Gomma S, Provencher J F, Liboiron M, *et al.* Plastic pollution in the Labrador Sea: an assessment using the seabird northern fulmar *Fulmarus glacialis* as a biological monitoring species[J]. Marine Pollution Bulletin, 2018, 127: 817-822.
- [34] Silva-Cavalcanti J S, Silva J D B, França E J D, *et al.* Microplastics ingestion by a common tropical freshwater fishing resource[J]. Environmental Pollution, 2017, 221: 218-226.
- [35] Browne M A, Crump P, Niven S J, *et al.* Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 45(21): 9175-9179.
- [36] Song Y K, Hong S H, Jang M, *et al.* Corrections to "Combined effects of UV exposure duration and mechanical abrasion on microplastic fragmentation by polymer type"[J]. Environmental Science & Technology, 2018, 52(6): 3831-3832.
- [37] 叶秋霞. 南京城市典型水体中微塑料污染特征分析[J]. 能源环境保护, 2020, 34(5): 79-83.
Ye Q X. Characteristics of micro-plastic pollution in Nanjing urban waters[J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(5): 79-83 (in Chinese).
- [38] 马思睿, 李舒行, 郭学涛. 微塑料的老化特性、机制及其对污染物吸附影响的研究进展[J]. 中国环境科学, 2020, 40(9): 3992-4003.
Ma S R, Li S X, Guo X T. A review on aging characteristics, mechanism of microplastics and their effects on the adsorption behaviors of pollutants[J]. China Environmental Science, 2020, 40(9): 3992-4003 (in Chinese).
- [39] 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[J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2013, 130: 62-69.
- [40] Holmes L A, Turner A, Thompson R C. Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment[J]. Environmental Pollution, 2012, 160: 42-48.
- [41] Hamer J, Gutow L, Köhler A, *et al.* Fate of microplastics in the marine isopod *Idotea emarginata*[J]. Environmental Science & Technology, 2014, 48(22): 13451-13458.