



## 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<sup>1,2,3</sup>, 曹 樟<sup>1</sup>, 严晨冰<sup>4</sup>, 朱国平<sup>2,4,5,6\*</sup>

(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. 上海海洋大学, 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. 上海海洋大学, 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306)

**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。目前关于南极微塑料的研究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, 其在南极海洋生态系统中发挥着承上启下的作用, 实验以南极南设得兰群岛周边海域侧纹南极鱼为对象, 探究其体内微塑料污染情况对于养护该资源有着重要的意义。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 °C 条件下, 使用 10% KOH 在恒温摇床消解 24 h 以上, 待溶液基本澄清后利用 0.45 μm 的滤膜过滤。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/尾。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。整体上, 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, 其中绝大多数为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。由于较大的表面积会导致其易与其他污染物结合, 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

中图分类号: S 917.4; X 171

文献标志码: A

收稿日期: 2021-03-02 修回日期: 2021-04-18

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

第一作者: 高春梅 (照片), 从事海洋环境化学研究, E-mail: cmgao@shou.edu.cn

通信作者: 朱国平, 从事生物海洋学与海洋生物资源管理研究, E-mail: gpzhu@shou.edu.cn



塑料诞生于 150 多年前, 其优越的性能在推进人类社会进步的同时, 废弃塑料数量也随之急剧攀升, 塑料在环境中受到人力、风力、光催化等作用分解为微塑料<sup>[1-2]</sup>。2004 年, Thompson 等<sup>[3]</sup>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<sup>[4]</sup>。微塑料存在极为广泛, 包括大气、水体、沉积物、生物体, 乃至人体内均有发现<sup>[5-7]</sup>。受水流输送、大气循环、自然积累和人为因素等影响<sup>[8-10]</sup>, 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<sup>[11]</sup>。尽管最近研究也显示, 南极近海表层水体<sup>[12]</sup>和南极半岛人类活动较为频繁的区域<sup>[13]</sup>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<sup>[14]</sup>。

南极鱼类作为在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<sup>[15]</sup>。南极鱼类涵盖南极鱼科 (Notothenidae) 等 8 个科<sup>[16]</sup>, 而南极鱼科又分为南极鱼亚科 (Nototheniinae)、肩孔南极鱼亚科 (Trematominae) 和侧纹南极鱼亚科 (Pleuragrammatinae), 其中侧纹南极鱼 (*Pleuragramma antarcticum*) 又与其他科系较为亲近<sup>[17]</sup>。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, 另一方面又被鸟类和海洋哺乳动物等捕食<sup>[18]</sup>。目前已有学者关注到南极生物体内的微塑料含量状况, 涉及到细菌<sup>[19]</sup>和企鹅<sup>[20-21]</sup>等, 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, 分析了侧纹南极鱼体内微塑料的丰度、类别及表面特征, 其研究结果将有助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”轮开展科学观测工作时采集, 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 (图 1 内红点) 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。鱼类样品分别用铝箔袋封装, 置于 -20 °C 保存, 待后续分析。实验过程中操作人员严格遵守实验动物相关伦理规范。

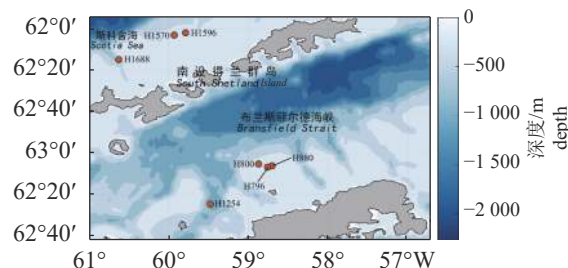


图 1 南设得兰群岛及取样站位

图中拖网红点表示站位, 数字表示网次。

Fig. 1 South Shetland Islands and the sampling locations

Solid red circles represent sampling station of trawler, and the number represents trawl net.

### 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<sup>[22]</sup>, 向含有样品的锥形瓶中加入 100 mL 10% KOH 溶液, 并在 60 °C 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。将抽滤后的滤膜放入载膜盒内, 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, 再根据微塑料的理化特征 (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, 将确定后的微塑料转移至扫描电

子显微镜下(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, 以避免消解液对滤膜的破坏, 从而减少样本损失。同时, 使用体式显微镜挑选空白对照组, 而微塑料定性检测等实验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的类型, 本研究从417个疑似微塑料中随机选取118个, 利用傅里叶红外光谱仪鉴定。经检测, 各类纤维素占61%, 由于无法利用光谱分析技术区分天然纤维素和衍生纤维素<sup>[23]</sup>, 因此微塑料计数中排除了所有纤维素塑料。

由于侧纹南极鱼样本个体较小, 体重较轻, 微塑料丰度指标的单位采用“个/尾”。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)及体重(WW)之间的共线性。剔除共线性较为明显的变量(体重)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±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( $n=73$ )中随机选取118个疑似微塑料, 共确认微塑料26个, 丰度为 $(0.36\pm 0.51)$ 个/尾, 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 $(0.33\pm 0.48)$ 和 $(0.39\pm 0.56)$ 个/尾。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( $P=0.09<0.1$ ), 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)。

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)<sup>[24-34]</sup>。突尼斯北部地中海海湾处底栖鱼类叉牙牛眼鲷和浅海中上层鱼类金鲷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, 其他生物体内的微塑料丰度相较于侧纹南极鱼高出1个数量级。

### 2.2 微塑料类型、颜色与粒径

根据微塑料的形态差异, 将其分为纤维状和碎片状2种类型, 其中纤维占96%。微塑料的粒径为59~1 862  $\mu\text{m}$ , 平均粒径 $(584.6\pm 419.2)$   $\mu\text{m}$ , 其中84.6%的微塑料粒径均小于1 000  $\mu\text{m}$ 。

微塑料颜色为蓝色(57.7%)和黑色(26.9%)。因为南极渔业中使用的渔网多为蓝色, 初步推测部分侧纹南极鱼体内蓝色微塑料来自渔网。棕色、黄色、绿色杂质经检测多为生物质如甲壳素与胰蛋白, 灰色杂质主要成分为纤维素。

### 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, 其中PP为11.5%, 其他还包括少量的尼龙(PA)和聚丙烯腈(PAN)等。

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), 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携带着大量的衣物纤维, 也会产生较多的

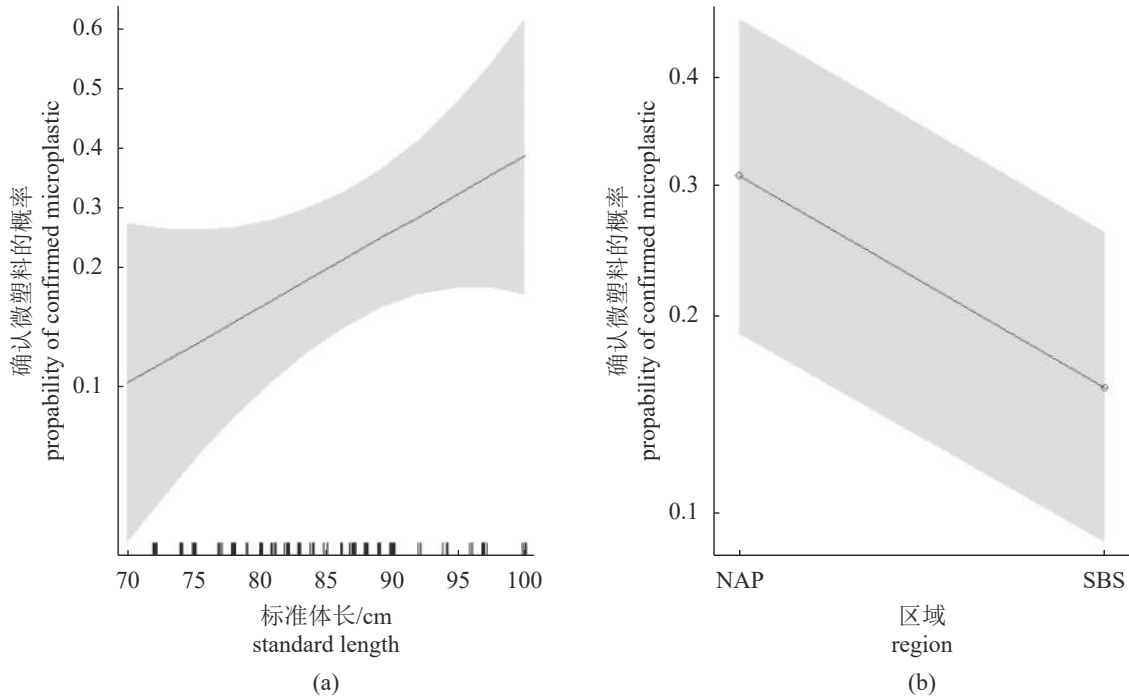


图2 南极南设得兰群岛周边水域侧纹南极鱼胃肠道微塑料随鱼类体长的变化

NAP. 南极半岛北侧, SBS. 布兰斯菲尔德海峡南侧, 阴影部分为95%置信区间。

Fig. 2 Variation in microplastics microplastic in stomach and intestinal tract of *P. antarcticum* with length in the South Shetland Islands, Antarctic

NAP. northern Antarctic Peninsula, SBS. southern Bransfield Strait. The shaded area signifies 95% confidence interval.

微塑料污染<sup>[35]</sup>。此外, 合成纤维暴露在较强的南极紫外线下, 容易被光氧化<sup>[36]</sup>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, 并且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来源之一。

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。PP具有较高的化学稳定性, 可耐酸碱, 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特点, 导致二者在水中占据优势地位<sup>[37]</sup>。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。

## 2.4 表面特征

通过扫描电镜显示, 碎片状微塑料表面面貌较扁平, 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, 有逐渐缩小的趋势(图版-4)。另一种的整体并未出现明显老化或风化痕迹, 表面非常光滑, 只沾染少许杂质(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。

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, 部分表层微塑料由于遭受紫外线长时间照射, 继续发生裂化、老化等变化, 其表面变得更加粗糙, 出现不规则裂纹、裂片或孔隙, 甚至直接分化为更微小的纳米级微塑料<sup>[38]</sup>。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<sup>[39]</sup>, 例如持久性有机污染物(POPs)、抗生素和病原体等。Holmes等<sup>[40]</sup>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, 其多为难

表 1 南极南设得兰群岛侧纹南极鱼与世界其他海域生物体内的微塑料丰度

Tab. 1 Abundance of microplastics in <i>P. antarcticum</i> around the South Shetland Islands, Antarctic and oceanic organisms around the world				
生物种类 species	海域 sea area	样本数 sample	平均丰度/(个/尾) abundance	来源 reference
短体芦鲷, 等 <i>Calamus brachysomus, et al</i>	墨西哥马格达莱纳湾 Magdalena Bay, Mexico	87	0.74	[24]
叉牙牛眼鲷 <i>Sarpa salpa</i>	突尼斯北部(地中海) Northern Tunisia (Mediterranean)	10	65.33±6.50	[25]
金鲷 <i>Liza aurata</i>		10	66.40±5.12	
斑鲷等 <i>Konosirus punctatus, et al</i>	象山港 Xiangshan Port	105	1.3±1.5	[26]
海鸟幼鸟 seabird chick	北大西洋加那利群岛 Canary Islands, North Atlantic	85	8.0	[27]
珠带拟蟹手螺等 <i>Cerithidea cingulata, et al</i>	波斯湾北部 Northern Persian Gulf	123	3.7~17.7	[28]
大西洋鲭 <i>Scomber scombrus</i>	英吉利海峡与凯尔特海 English Channel and Celtic Sea	31	18	[29]
海鸟 seabird	加拿大纽芬兰湾 Newfoundland Bay, Canada	171	0.81±0.30	[30]
澳洲棘鲷 <i>Acanthopagrus australis</i>	悉尼湾 Sydney Bay	93	2.68	[31]
半带银鲈 <i>Mugil cephalus</i>				
<i>Gerres subfasciatus</i>				
短尾鹱 <i>Puffinus tenuirostris</i>	北斯特布罗克岛 North Strasbruck Island	129	3.09	[32]
暴风鹱 <i>Fulmarus glacialis</i>	拉布拉多海岸(北极) Labrador Coast (the North Pole)	70	11.6	[33]
滨岸护胸鲑 <i>Hoplosternum littorale</i>	巴西东北部 Northeast Brazil	48	3.67	[34]
侧纹南极鱼 <i>Pleuragramma antarcticum</i>	南设得兰群岛 South Shetland Islands	73	0.36±0.51	本研究

生物降解物质, 会延长其在水中的停留时间, 且这些添加剂本身也是复杂的有机污染物。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<sup>[41]</sup>。

### 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, 探讨了其来源以及潜在风险。

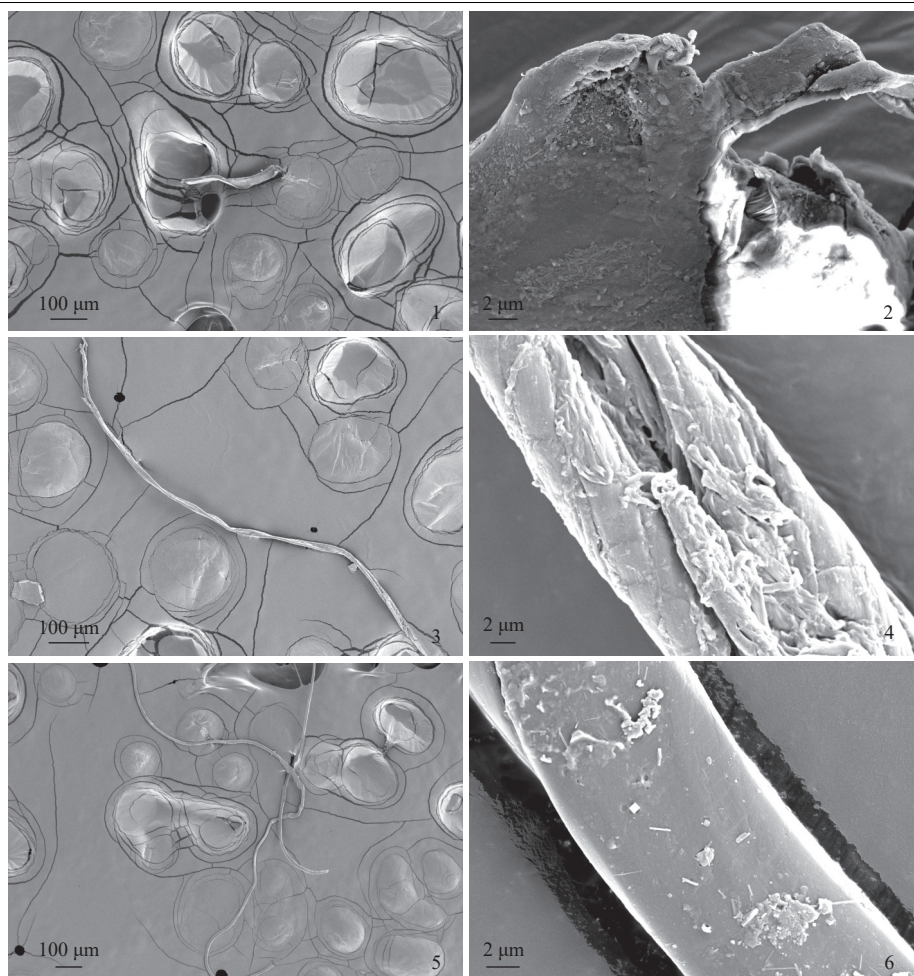
南设得兰群岛附近水域侧纹南极鱼体内微塑料平均丰度为 (0.36±0.51) 个/尾。侧纹南极鱼胃肠道含物中微塑料丰度与鱼类体长之间存在正相关。

南设得兰群岛北侧侧纹南极鱼胃肠道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)  $\mu\text{m}$ , 其中 84.6% 的微塑料粒径小于 1 000  $\mu\text{m}$ 。

聚酯类微塑料占比接近 80%, 为侧纹南极鱼微塑料的主要成分, 其中绝大多数为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导致其产生的主要来源。

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。较大的比表面积会导致其易与其他污染物结合, 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。



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 (3~6) 微塑料扫描电镜照片

**Plate Scanning electron microscope images of fragmentary (1-2) and fibrous (3-6) microplastics in stomach and intestinal tract of *P. antarcticum* in the South Shetland Islands, Antarctic**

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, 为调查侧纹南极鱼的生存环境、南极海域环境质量及微塑料污染风险提供依据。

感谢辽宁省大连海洋渔业集团公司南极磷虾专业捕捞加工船“福荣海”轮船长和船员在样本采集过程中给予的帮助与支持。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

**参考文献 (References):**

- [1] Moore C J. Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat[J]. *Environmental Research*, 2008, 108(2): 131-139.  
<https://www.china-fishery.cn>

- [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 the surface water and sediment of Haizhou Bay, Lianyungang City, China. *Journal of Environmental Research*, 2020, 108(2): 131-139.  
中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- ics 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] Cózar A, Echevarría F, González-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] Isobe 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]. *渔业科学进展*, 2021, 42(4): 9-18.  
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]. *Progress in Fishery Sciences*, 2021, 42(4): 9-18 (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.



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

GAO Chunmei<sup>1,2,3</sup>, CAO Zhang<sup>1</sup>, YAN Chenbing<sup>4</sup>, ZHU Guoping<sup>2,4,5,6\*</sup>

(1. College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Center for Polar Research, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

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 Ocean University, Shanghai 201306, China;

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

**Abstract:** Microplastic pollution in the ocean is a global environmental problem, and the microplastic pollution in the waters around Antarctica is a crucial part of it. However, there are few studies on microplastics in the Antarctic, most of which focus on the seawater and penguin excrement near the Antarctic. Studies on microplastics in the Antarctic fish are few, especially in *Pleuragramma antarcticum*. *P. antarcticum* is the most abundant pelagic fish living in the Antarctic continental shelf waters and plays a role of linkage in the Antarctic Marine ecosystem, so it is necessary for conserving this resource to explore microplastic pollution in *P. antarcticum* in the waters around South Shetland Islands, Antarctica. After thawing the samples from Antarctica and recording biological information, the gastrointestinal tract was extracted. At 60 °C, 10% KOH was used for digestion in a constant temperature shaker for more than 24 hours. After the solution was basically clarified, a 0.45 μm filter membrane was used for filtration. Suspected microplastics were picked out after filtration under a stereomicroscope, and then qualitatively detected by Fourier infrared spectrometer. Finally, the microplastic morphology was photographed by a Scanning Electron Microscope (SEM). 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. In general, the occurrence of microplastics in *P. antarcticum* was slightly higher in the northern Southern Shetland Islands than in the southern Bransfield Strait, but the overall pollution levels were relatively low. The microplastics in the *P. antarcticum* could be divided into fibrous and fragmentary types, and most of them were fibrous. The color of microplastics was mainly blue, followed by black, and red and transparent colors were less common. 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 microplastics in the *P. antarcticum*, most of which were polyethylene terephthalate (PET). Fishing nets and discharge of sewage from crew might be its main source. The surface characteristics of microplastics were analyzed by SEM which indicated that the fracture area of microplastics was rough and the specific surface area increased significantly. The SEM images of two kinds of fibrous microplastics illustrated the changes of microplastics in organisms. Due to the large specific surface area, it was easy to combine with other pollutants, carry toxic and harmful substances into the ecosystem, and then enter human life through the food chain. Therefore, it is still necessary to pay attention to the ecological effects caused by microplastics pollution. The results of this study enrich 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 the Antarctic ecosystem.

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

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

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