



太平洋褶柔鱼胃组织微塑料的积聚特性

陆化杰^{1,2,3*}, 孙天姿¹, 刘凯¹, 欧玉哲¹, 赵懋林¹

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学, 自然资源部海洋生态监测与修复技术重点实验室, 上海 201306;

3. 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: 微塑料作为新型海洋环境污染物, 具有化学性质稳定、难以降解的特点, 可在海洋环境中长期积累, 并在海洋生物体内沉积, 最终可能对人类的健康产生威胁。为研究太平洋褶柔鱼胃组织中微塑料摄取特性及其与个体大小(胴长和体重)、胃重和摄食等级的关系。本研究根据2018年1—3月中国生产调查船于中国东海海域采集的30尾太平洋褶柔鱼样本, 利用统计和相关性分析的方法, 对其胃组织中微塑料的积聚特性进行了研究。结果显示, 30尾测定样本中, 有16尾的胃组织中发现18个微塑料。微塑料丰度为0~3个/尾, 平均丰度0.6个/尾; 长度为0.332~4.337 mm, 平均长度1.252 mm, 其中72%的微塑料小于1.000 mm。微塑料颜色主要为黑(38.9%)、白(33.3%)、蓝(22.2%)和灰(5.6%), 材质主要由棉(44.5%)、聚酯纤维(33.3%)和人造丝(22.3%)组成。相关性分析表明, 太平洋褶柔鱼胃组织微塑料的含量与胃重、摄食等级无显著相关性, 但与胴长、体重和日龄呈显著正相关, 并随着胴长、体重和日龄的增加而增加。研究表明, 太平洋褶柔鱼胃组织中微塑料的沉积随个体的生长而逐渐增多, 这说明其对微塑料的摄入量大于排出量。本研究为探讨我国东海头足类微塑料摄取特点及东海微塑料污染特性提供参考。

关键词: 太平洋褶柔鱼; 胃组织; 微塑料; 相关性; 积聚特性; 东海

中图分类号: X 171; S 917.4

文献标志码: A

太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)属头足纲(Cephalopoda)枪形目(Teuthida)柔鱼科(Ommastrephidae)褶柔鱼属(*Todarodes*), 主要分布在太平洋西部21°~50°N海域^[1], 资源丰富^[2], 是东亚各国重要经济头足类资源^[3-5]。微塑料是指直径小于5 mm的塑料碎片^[6], 其在海洋中分布范围广、降解速率慢^[7-8]、毒理性复杂^[9-10], 对鱼虾贝藻^[11-20]、桡足类^[21-24]、珊瑚礁^[25]和海洋中大型滤食动物如鲸鲨(*Rhincodon typus*)^[26]和哺乳动物如座头鲸(*Megaptera novaeangliae*)^[27]和特鲁氏中喙鲸(*Meso-*

plodon mirus)^[28]均会产生影响, 并且不同栖息地鱼类对微塑料摄取在种类和数量上均有所不同^[29], 海洋微塑料研究已成为全球海洋研究的热点。但关于微塑料对于头足类的影响以及头足类组织中微塑料摄取特性的研究较少, 专门针对太平洋褶柔鱼各组织中微塑料积聚特性的研究尚未见报道。本实验根据2018年1—3月在我国东海采集的太平洋褶柔鱼样本, 对其胃组织中微塑料的沉积特性进行了研究, 为探讨我国东海头足类微塑料摄取特点及东海微塑料污染特性提供参考。

收稿日期: 2023-02-07 修回日期: 2023-04-09

资助项目: 国家重点研发计划(2019YFD090402); 国家自然科学基金(NSFC 41506184)

通信作者: 陆化杰(照片), 从事头足类渔业生态学研究, E-mail: hjlu@shou.edu.cn



1 材料与方 法

1.1 采样时间和海域

样本采集时间为 2018 年 1 月 13 日—3 月 27 日, 采集海域为 24°09'~29°44'N、122°28'~127°07'E, 采样点数量为 62 个。

1.2 生物学及胃组织采样

从每个采样点太平洋褶柔鱼的渔获中随机抽取 20 尾作为样本, 对其胴长 (mantle length, ML)、体重 (body weight, BW)、性别和胃饱满度等渔业生物学数据进行测量和鉴定, 其中长度精确至 1 mm, 体重精确至 0.1 g, 性成熟度划分参照头足类的性成熟度分期标准^[30], 摄食等级采用 5 级标准^[30-31]。整个调查期间共采集太平洋褶柔鱼样本 1 840 尾, 在样本选择过程中已将性别、大小、采样时间等因素统筹考虑在内, 选取时尽量涵盖各种大小的样本, 尽量涵盖所有取样时间和性别组成, 选取 30 尾太平洋褶柔鱼样本进行解剖, 将胃组织取出、称重后放入广口玻璃瓶中冷冻保存, 为后续微塑料测定做准备, 胃重精确至 0.1 g。实验过程中操作人员严格遵守实验动物相关伦理规范。

1.3 微塑料测定

太平洋褶柔鱼胃组织微塑料的测定主要包括消解、抽滤、静置干燥、显微镜观察挑选和测定等 5 个步骤, 参考文献^[32]进行。用 Micro-FTIR (Nicolet iN 10, Thermo Fisher, 美国) 对微塑料进行鉴定, 匹配标准为匹配度 70% 以上。将鉴定的微塑料按照种类和数量进行分类记录, 并记录颜色。微塑料测定完成后, 利用 ImageJ (×64) 图片处理软件进行微塑料长度的测量。

1.4 统计分析

分类统计分析 按不同数量、不同材质、不同颜色、不同尺寸对太平洋褶柔鱼胃组织中微塑料摄取特性进行统计分析^[14]。

皮尔逊相关性分析 皮尔逊相关性分析 (在 0.01 级别, 双尾) 研究胃组织中微塑料摄取数量和个体大小 (胴长和体重)、日龄、胃重和摄食等级之间的相关性^[33]。

分组计算生物学平均值 按胃组织微量元素含量个数对样本进行分组, 并计算每组所有样本的胴长和体重的平均值^[34]。

最小二乘法拟合 利用最小二乘法拟合胃

组织微塑料数量与平均胴长、平均体重和平均日龄的关系^[35]。

整个数据处理和图形制作分别在 Microsoft Office Excel 2016 和 SPSS 20 软件中进行。

2 结 论

2.1 生物学信息

30 尾太平洋褶柔鱼胴长、体重、胃重和摄食等级等生物学信息详见表 1。摄食等级采用 0~4 共 5 个等级进行划分^[36], 太平洋褶柔鱼胴长 87~208 mm, 平均胴长 159.6 mm; 体重 16~188 g, 平均体重 91.6 g; 胃重 0.1~7.3 g, 平均胃重 0.71 g;

表 1 太平洋褶柔鱼胃组织微塑料摄取信息

Tab. 1 Ingestion of microplastics in stomach of *T. pacificus*

| 编号 No. | 胴长/mm mantle length | 体重/g body weight | 胃重/g stomach weight | 摄食 等级 feeding grade | 微塑料 含量/个 microplastic content | 微塑料 长度/mm microplastic length |
|-----------|---------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------|--|--|
| 1 | 182 | 146 | 0.5 | 1 | 0 | |
| 2 | 208 | 188 | 1.5 | 1 | 3 | 0.470~4.037 |
| 3 | 162 | 89 | 0.6 | 1 | 0 | |
| 4 | 149 | 165 | 0.7 | 1 | 1 | 2.817 |
| 5 | 192 | 144 | 0.5 | 1 | 2 | 0.332~0.857 |
| 6 | 172 | 92 | 0.9 | 1 | 1 | 0.469 |
| 7 | 180 | 111 | 0.6 | 1 | 1 | 0.433 |
| 8 | 155 | 56 | 0.2 | 1 | 0 | |
| 9 | 182 | 129 | 0.8 | 1 | 2 | 0.461~4.337 |
| 10 | 176 | 109 | 0.4 | 1 | 0 | |
| 11 | 180 | 97 | 0.1 | 1 | 0 | |
| 12 | 171 | 103 | 1.0 | 1 | 1 | 0.495 |
| 13 | 161 | 75 | 0.3 | 1 | 0 | |
| 14 | 185 | 136 | 1.1 | 1 | 1 | 0.511 |
| 15 | 158 | 88 | 7.3 | 3 | 0 | |
| 16 | 179 | 124 | 0.4 | 1 | 1 | 1.313 |
| 17 | 177 | 119 | 0.2 | 1 | 0 | |
| 18 | 174 | 103 | 0.4 | 1 | 0 | |
| 19 | 176 | 106 | 0.7 | 1 | 1 | 0.971 |
| 20 | 162 | 82 | 0.5 | 1 | 0 | |
| 21 | 172 | 113 | 0.3 | 1 | 0 | |
| 22 | 164 | 86 | 0.8 | 1 | 1 | 0.430 |
| 23 | 162 | 72 | 0.1 | 1 | 0 | |
| 24 | 146 | 57 | 0.6 | 1 | 0 | |
| 25 | 117 | 31 | 0.3 | 1 | 0 | |
| 26 | 136 | 37 | 0.4 | 1 | 1 | 1.964 |
| 27 | 121 | 32 | 0.2 | 1 | 0 | |
| 28 | 92 | 16 | 0.1 | 1 | 0 | |
| 29 | 87 | 16 | 0.2 | 1 | 1 | 0.444 |
| 30 | 111 | 25 | 0.9 | 3 | 1 | 0.478 |

摄食等级范围 1~3, 大多为 1 级 (93.9%)。

2.2 胃组织中微塑料的分布特征

结果显示, 30 尾太平洋褶柔鱼胃组织中有 16 尾 (53.3%) 发现了微塑料, 仅有 1 尾胃组织中含有 3 个微塑料, 2 尾含有 2 个微塑料, 其余均为 1 个, 鉴定获得微塑料总数为 18 个。微塑料丰度为 0~3 个/尾, 平均丰度为 0.6 个/尾 (表 1)。长度为 0.332~4.337 mm, 平均长度为 1.252 mm, 其中 72% 的微塑料尺寸小于 1 mm, 其余尺寸均为 1~5 mm (图 1-a)。微塑料的形态均为纤维状, 颜色由黑、白、蓝、灰组成, 黑色占比最高 (38.9%), 白色 (33.3%)、蓝色 (22.2%) 次之, 灰色 (5.6%) 最少 (图 1-b)。经鉴定, 微塑料材质主要为棉、聚酯纤维和人造丝, 占比分别为 44.5%、33.3% 和 22.2% (图 1-c)。

2.3 胃组织中微塑料含量与胃重和摄食等级之间的关系

相关性分析表明, [在 0.01 级别 (双尾) 皮尔逊相关性条件下], 太平洋褶柔鱼胃组织微塑料含量与胃重 (0.043)、摄食等级 (-0.035) 不存在显著相关性 (表 2, 表 3)。

2.4 胃组织中微塑料含量与胴长和体重之间的关系

相关性分析表明, 在 0.01 级别 (双尾) 皮尔逊相关性条件下, 太平洋褶柔鱼胃组织微塑料含量与胴长存在显著相关性 (0.376) (表 4)。鉴于胃组织中微塑料含量为 0~3 个/尾, 将其分为 4 组, 并计算每组平均胴长。经拟合, 微塑料含量与平均胴长最适合用线性方程表示 (图 2-a)。

$$y=0.0493x-7.2202 (R^2=0.9399)$$

式中, y 为微塑料含量, x 为平均胴长。

相关性分析表明, [在 0.01 级别 (双尾) 皮尔逊相关性条件下], 太平洋褶柔鱼胃组织微塑料含量与体重也存在显著相关性 (0.486) (表 5)。同样按微塑料含量将其分为 4 组, 计算每组平均体重。经拟合, 微塑料含量与平均体重也最适合用线性方程表示 (图 2-b)。

$$y=0.0255x-1.6692 (R^2=0.9454)$$

式中, y 为微塑料含量, x 为平均体重。

2.5 胃组织中微塑料含量与日龄之间的关系

相关性分析表明, 在 0.01 级别 (双尾) 皮尔逊相关性条件下, 太平洋褶柔鱼胃组织微塑料含量

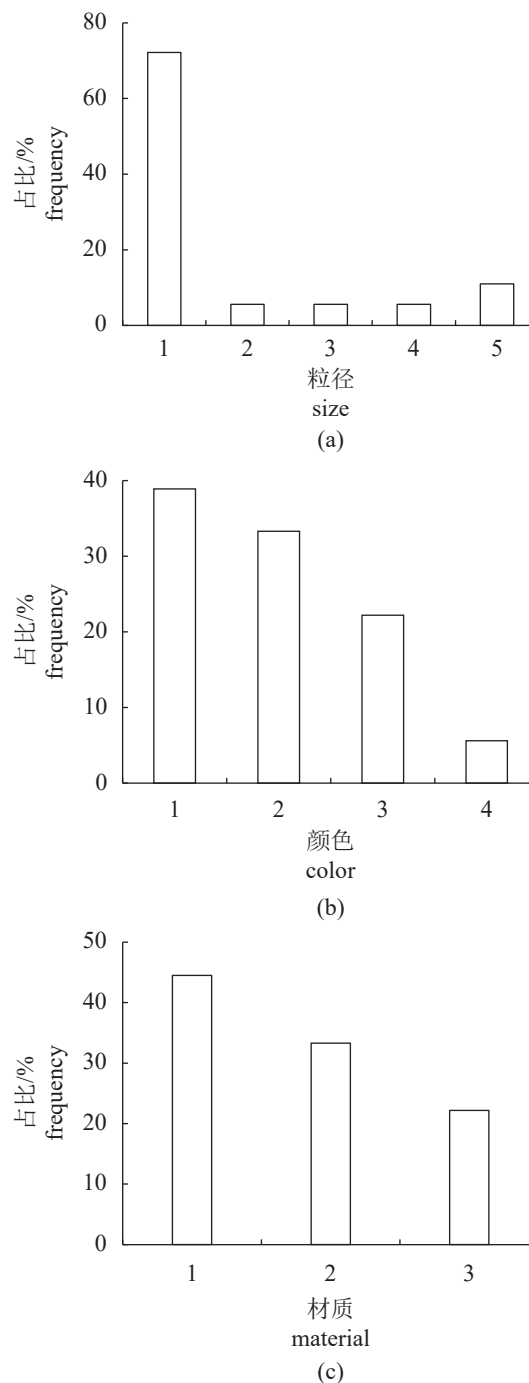


图 1 中国东海太平洋褶柔鱼胃组织中微塑料分布特征

(a) 尺寸, 1. <1 mm, 2. 1~2 mm, 3. 2~3 mm, 4. 3~4 mm, 5. 4~5 mm; (b) 颜色, 1. 黑色, 2. 白色, 3. 蓝色, 4. 灰色; (c) 材质, 1. 棉, 2. 聚酯纤维, 3. 人造丝。

Fig. 1 Proportional distribution of microplastics in the stomach tissue of *T. pacificus* from East China Sea

(a) size, 1. <1 mm, 2. 1~2 mm, 3. 2~3 mm, 4. 3~4 mm, 5. 4~5 mm; (b) color, 1. black, 2. white, 3. blue, 4. gray; (c) texture of material, 1. cotton, 2. polyester, 3. rayon.

与日龄具有显著相关性 (表 6)。同样按微塑料含量将其分为 4 组, 计算每组平均日龄。经拟合, 微

表 2 太平洋褶柔鱼胃组织样本中微塑料含量与胃重的相关性

Tab. 2 Correlation between the content of microplastics in stomach tissue samples of *T. pacificus* and stomach weight

| 项目 items | | 胃重 stomach weight | 胃组织中微塑料含量 content of microplastic in stomach tissue |
|--|----------------------------|----------------------|--|
| 胃重 stomach weight | 皮尔逊相关性 Pearson correlation | 1 | 0.043 |
| | Sig.(双尾) Sig. (two tailed) | | 0.820 |
| | 个案数 cases | 30 | 30 |
| 胃组织中微塑料含量 content of microplastic in stomach tissue | 皮尔逊相关性 Pearson correlation | 0.043 | 1 |
| | Sig.(双尾) Sig. (two tailed) | 0.820 | |
| | 个案数 cases | 30 | 30 |

表 3 太平洋褶柔鱼胃组织样本中微塑料含量与摄食等级的相关性

Tab. 3 Correlation between the content of microplastics in stomach tissue samples of *T. pacificus* and feeding grade

| 项目 items | | 摄食等级 feeding grade | 胃组织中微塑料含量 content of microplastic in stomach tissue |
|--|----------------------------|-----------------------|--|
| 摄食等级 feeding grade | 皮尔逊相关性 Pearson correlation | 1 | -0.035 |
| | Sig.(双尾) Sig. (two tailed) | | 0.853 |
| | 个案数 cases | 30 | 30 |
| 胃组织中微塑料含量 content of microplastic in stomach tissue | 皮尔逊相关性 Pearson correlation | -0.035 | 1 |
| | Sig.(双尾) Sig. (two tailed) | 0.853 | |
| | 个案数 cases | 30 | 30 |

表 4 太平洋褶柔鱼胃组织样本中微塑料含量与胴长的相关性

Tab. 4 Correlation between the content of microplastics in stomach tissue samples of *T. pacificus* and mantle length

| 项目 items | | 胴长 mantle length | 胃组织中微塑料含量 content of microplastic in stomach tissue |
|--|----------------------------|---------------------|--|
| 胴长 mantle length | 皮尔逊相关性 Pearson correlation | 1 | 0.376* |
| | Sig.(双尾) Sig. (two tailed) | | 0.040 |
| | 个案数 cases | 30 | 30 |
| 胃组织中微塑料含量 content of microplastic in stomach tissue | 皮尔逊相关性 Pearson correlation | 0.376* | 1 |
| | Sig.(双尾) Sig. (two tailed) | 0.040 | |
| | 个案数 cases | 30 | 30 |

注: *. 在 0.05 级别 (双尾), 相关性显著。

Notes: *. at 0.05 level (two-tailed test), the correlation is significant.

塑料含量与平均日龄也最适合用线性方程表示 (图 3)。其中日龄通过耳石得出。

$$y=0.0421x-6.2177 (R^2=0.8861)$$

式中, y 为微塑料含量, x 为平均日龄。

3 讨论

3.1 胃组织样本中微塑料的特点

在本次测定的 30 尾太平洋褶柔鱼中, 共有 16 尾胃组织内发现了微塑料, 占比为 53.3%, 微塑料平均含量 0.6 个/尾。这与 Zhang 等^[37]对中国东海鱼类微塑料占比 (57.5%) 和平均含量 (0.77 个

/尾) 的研究结果基本一致。本研究发现超过一半的微塑料 (72%) 小于 1 mm, 主要为黑、白、蓝、灰 4 种颜色, 这与大部分研究结果相同^[38-40] (表 7)。此外, 微塑料测定结果显示, 太平洋褶柔鱼胃组织中共发现棉 (44.4%)、聚酯纤维 (33.3%)、人造丝 (22.2%) 3 种材质微塑料 (图 1-c), 对比相关研究^[41-45] 发现, 本研究中棉材质占有过高比例, 具体原因还需深入研究。

3.2 胃组织中微塑料含量与胃重和摄食等级间的关系

本研究表明, 太平洋褶柔鱼胃组织样本中微

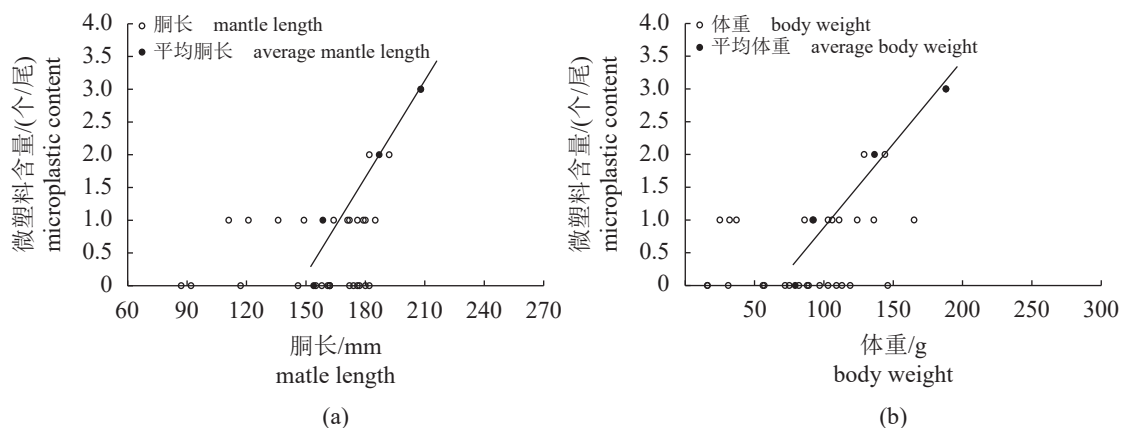


图 2 太平洋褶柔鱼胃组织中微塑料含量与胴长 (a) 和体重 (b) 之间的关系

Fig. 2 Relationship among mantle length (a), body weight (b) and microplastic content in stomach tissue samples of *T. pacificus*

表 5 太平洋褶柔鱼胃组织样本中微塑料含量与体重的相关性

Tab. 5 Correlation between the content of microplastics in stomach tissue samples of *T. pacificus* and body weight

| 项目 items | | 体重 body weight | 胃组织中微塑料含量 content of microplastic in stomach tissue |
|---|----------------------------|----------------|---|
| 体重 body weight | 皮尔逊相关性 Pearson correlation | 1 | 0.486** |
| | Sig.(双尾) Sig. (two tailed) | | 0.007 |
| | 个案数 cases | 30 | 30 |
| 胃组织中微塑料含量 content of microplastic in stomach tissue | 皮尔逊相关性 Pearson correlation | 0.486** | 1 |
| | Sig.(双尾) Sig. (two tailed) | 0.007 | |
| | 个案数 cases | 30 | 30 |

注: **. 在 0.01 级别 (双尾), 相关性显著, 下同。

Notes: **. at 0.01 level (two-tailed test), the correlation is significant, the same below.

表 6 太平洋褶柔鱼胃组织样本中微塑料含量与日龄的相关性

Tab. 6 Correlation between the content of microplastics in stomach tissue samples of *T. pacificus* and age

| 项目 items | | 日龄 age | 胃组织中微塑料含量 content of microplastic in stomach tissue |
|---|----------------------------|---------|---|
| 日龄 age | 皮尔逊相关性 Pearson correlation | 1 | 0.603** |
| | Sig.(双尾) Sig. (two tailed) | | 0.000 |
| | 个案数 cases | 30 | 30 |
| 胃组织中微塑料含量 content of microplastic in stomach tissue | 皮尔逊相关性 Pearson correlation | 0.603** | 1 |
| | Sig.(双尾) Sig. (two tailed) | 0.000 | |
| | 个案数 cases | 30 | 30 |

塑料含量与胃重、摄食等级之间不存在显著相关性。陆化杰等^[46]研究发现, 南海鸢乌贼 (*Stenoteuthis oualaniensis*) 胃组织中微塑料含量与胃重、摄食强度不存在显著相关性, 与本研究结果相似。由于胃重反映了胃含物的多少, 而摄食等级反映了饥饱程度, 能间接反映太平洋褶柔鱼胃含物的含量^[31]。本研究结果显示, 太平洋褶柔鱼胃组织样本中微塑料的含量与胃含物的含量无明显相关性, 因此在后续研究中, 不建议利用胃重和摄食

等级来判断柔鱼类胃组织中微塑料的摄取量。

3.3 胃组织中微塑料含量与胴长、体重及日龄间的关系

本研究表明, 太平洋褶柔鱼胃组织中微塑料的含量与胴长具有显著正相关。Huang 等^[47]研究发现, 湛江红树林鱼类体内的微塑料含量与体长呈明显的正相关性, 与本研究结果相似。本研究也表明, 太平洋褶柔鱼胃组织样本中微塑料含量

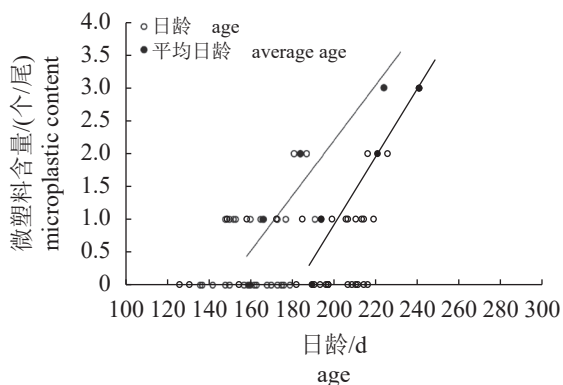


图3 太平洋褶柔鱼日龄、平均日龄与胃组织样本中微塑料含量散点图

Fig. 3 Scatter plot of age, average age and microplastic content in stomach tissue of *T. pacificus*

与体重也具有显著的正相关性, 这与 Su 等^[38]通过对澳大利亚城市湿地霍氏食蚊鱼 (*Gambusia holbrooki*) 的聚集与体重关系的研究结果相似。本研

究还显示, 太平洋褶柔鱼胃组织中微塑料含量与日龄也具有显著正相关性。然而, 截至目前, 针对头足类日龄与其胃组织微塑料的研究尚未见报道, 但陆化杰等^[35]的研究表明, 头足类的胴长和体重与日龄之间存在显著的正相关性, 也从侧面支撑了本研究结果的可靠性。

3.4 展望

本研究表明, 太平洋褶柔鱼胃组织中微塑料积聚与胃重、摄食等级等无明显相关性, 但与胴长、体重和日龄等呈显著正相关性, 即随着胴长、体重和日龄的增长, 胃组织中微塑料的含量也随之增加。但这种微塑料的积聚是长期积聚 (摄入量>排出量) 而成, 还是存在积聚饱和点 (摄入量=0), 又或者是在达到一定程度时保持摄入和排出的动态平衡 (摄入量=排出量), 目前尚不得而知。此外, 作为重要的经济头足类之一, 太平洋褶柔

表7 国内外野外鱼类微塑料摄取相关研究

Tab. 7 Related studies on microplastics ingestion of wild fish at home and abroad

| 采样站点 sampling site | 微塑料材质 materials | 微塑料形状(占比/%) shape (proportion) | 微塑料颜色 colour | 微塑料占比/% proportion | 平均含量/个 average content | <1 mm微塑料 占比/% <1 mm microplastics proportion | 参考文献 reference |
|--|---|--|---|-----------------------|------------------------------|--|-------------------|
| 北海和波罗的海 North Sea and Baltic Sea | PE、PA、PP、 PS | 碎片(>50%) | | 4.07 | | | [43] |
| 英吉利海峡 English Channel | 人造丝、PA、PE、 PS、LDPE、丙 烯酸纤维 | 纤维(68%)、碎片 (16%)、玻璃粉(12%) | | 36.5 | 0.69 | 32 | [41] |
| 波斯湾穆萨河口 Musa Estuary, Persian Gulf | | 纤维、碎片 | 黑灰色(71.1%)、蓝绿 色(12.33%)、红粉色 (8.34%)、透明色 (6.89%)、橘黄色 (1.33%) | 100 | 16.7 | 86.5 | [40] |
| 葡萄牙海岸 Portuguese coast | PP、PE、醇酸树 脂、人造丝、尼 龙、丙烯酸纤维 | 纤维(65.8%)、碎片 (34.2) | | 19.8 | 0.27 | | [44] |
| 中国广东河口 estuarine areas of Guangdong, China | | 纤维(63%)、碎片 (27%)、薄膜(7%)、 小球(3%) | 白色(51%)、黑色 (18%)、黄色(17%)、 蓝色(8%)、绿色(3%)、 红色(3%) | 96.9 | 5.4 | 90 | [14] |
| 中国杭州湾 Hangzhou Bay, China | PE、PES、PP、 棉 | 纤维、碎片、薄膜 | | 75.4 | | 55 | [38] |
| 中国东海 East China Sea | PE、PET、PP、 PS、PVC、尼龙、 丙烯酸纤维、共 聚物、三聚体 | 纤维(59.6%)、碎片 (38%)、薄膜(9.3%)、 泡沫(2.3%)、小球 (1.7%) | 蓝色、黑色、红色 | 57.5 | 0.77 | 78.7 | [39] |
| 中国沿岸河口 coastal and fresh waters of China | 玻璃纸、PE、 PET | 纤维、碎片、小球、 薄膜 | 白色、黑色、蓝色 | 55.9~92.3 | | | [42] |
| 中国南海北部湾 Beibu Gulf, South China Sea | PET、尼龙、PP、 PE、丙烯酸纤维 | 纤维(96%)、碎片 (2%)、薄膜(2%) | 透明(83%)、蓝色 (11%)、红色(4%)、 绿色(2%) | 49.1 | 0.228 | | [40] |

鱼体内微塑料的积聚是否对人类健康造成影响, 还需要深入研究。本实验仅研究了太平洋褶柔鱼胃组织中微塑料摄取特性及其与个体大小(胴长和体重)、胃重和摄食等级的关系, 未对其他组织中微塑料沉积特性进行研究。未来将延长采样时间, 增加太平洋褶柔鱼其他组织的样本量, 对其在不同时间段、不同组织内微塑料的沉积特征进一步分析。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 宁欣, 陆化杰, 刘凯, 等. 2018年春季拉尼娜发生期东海太平洋褶柔鱼的渔业生物学特性[J]. 水产学报, 2020, 44(10): 1672-1684.
Ning X, Lu H J, Liu K, *et al.* Fisheries biological characteristics of Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) in spring in the La Niña year of 2018 in the East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(10): 1672-1684 (in Chinese).
- [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT statistics databases[R]. Rome: FAO, 2016.
- [3] 董正之. 黄海太平洋褶柔鱼资源现状与开发[J]. 海洋科学, 1996(6): 34-38.
Dong Z Z. On the present status and exploratory problems of resource of *Todarodes pacificus* in the Yellow Sea[J]. Marine Sciences, 1996(6): 34-38 (in Chinese).
- [4] 杨林林, 姜亚洲, 刘尊雷, 等. 夏季东海太平洋褶柔鱼群体结构的年际变化[J]. 中国水产科学, 2014, 21(3): 593-601.
Yang L L, Jiang Y Z, Liu Z L, *et al.* Annual variability in population structure of *Todarodes pacificus* in the East China Sea in summer[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(3): 593-601 (in Chinese).
- [5] 王尧耕, 陈新军. 世界大洋性经济柔鱼类资源及其渔业[M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 30-33.
Wang Y G, Chen X J. The world ocean economic cephalopods resources and fisheries[M]. Beijing: Ocean Press, 2005: 30-33(in Chinese).
- [6] 杨璐, 许超, 张智力, 等. 微塑料的研究进展[J]. 绿色包装, 2018, 33(9): 65-68.
Yang L, Xu C, Zhang Z L, *et al.* Research progress of microplastics[J]. Green Packaging, 2018, 33(9): 65-68 (in Chinese).
- [7] 李道季. 海洋微塑料污染状况及其应对措施建议[J]. 环境科学研究, 2019, 32(2): 197-202.
Li D J. Research advance and countermeasures on marine microplastic pollution[J]. Research of Environmental Sciences, 2019, 32(2): 197-202 (in Chinese).
- [8] 扈瀚文, 杨萍萍, 薛含含, 等. 环境微塑料污染的研究进展[J]. 合成材料老化与应用, 2020, 49(1): 97-102.
Hu H W, Yang P P, Xue H H, *et al.* Research progress on environmental pollution of microplastics[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2020, 49(1): 97-102 (in Chinese).
- [9] 王素春, 刘光洲, 张欢, 等. 微塑料对微藻的毒性效应研究进展[J]. 海洋环境科学, 2019, 38(2): 192-197.
Wang S C, Liu G Z, Zhang H, *et al.* Toxicity research progress of microplastics on microalgae[J]. Marine Environmental Science, 2019, 38(2): 192-197 (in Chinese).
- [10] 马乃龙, 程勇, 张利兰. 微塑料的生态毒理效应研究进展及展望[J]. 环境保护科学, 2018, 44(6): 117-123.
Ma N L, Cheng Y, Zhang L L. Research progress and prospect of ecotoxicological effects of microplastic[J]. Marine Environmental Science, 2018, 44(6): 117-123 (in Chinese).
- [11] Digka N, Tsangaris C, Torre M, *et al.* Micro - plastics in mussels and fish from the Northern Ionian Sea[J]. Marine Pollution Bulletin, 2018, 135: 30-40.
- [12] 蔡亚云, 赵佳玥, 李文锋, 等. 不同粒径塑料微颗粒在斑马鱼腮组织中的积累及其对蒽毒性的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2017, 23(6): 1154-1158.
Cai Y Y, Zhao J Y, Li W F, *et al.* Retention of polystyrene particles of different sizes in zebrafish gills and their effect on toxicity of anthracene to gill cells[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2017, 23(6): 1154-1158 (in Chinese).
- [13] 武芳竹, 曾江宁, 徐晓群, 等. 海洋微塑料污染现状及其对鱼类的生态毒理效应[J]. 海洋学报, 2019, 41(2): 85-98.
Wu F Z, Zeng J N, Xu X Q, *et al.* Status of marine microplastic pollution and its ecotoxicological effects on marine fish[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2019, 41(2): 85-98 (in Chinese).
- [14] Zhang C N, Wang S D, Pan Z K, *et al.* Occurrence and distribution of microplastics in commercial fishes from

- estuarine areas of Guangdong[J]. *Chemosphere*, 2020, 260: 127656.
- [15] Murray F, Cowie P R. Plastic contamination in the Decapod Crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758)[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, 62(6): 1207-1217.
- [16] Li J, Qu X Y, Su L, *et al.* Microplastics in mussels along the coastal waters of China[J]. *Environmental Pollution*, 2016, 214: 177-184.
- [17] 冉文, 滕佳, 刘永亮, 等. 环渤海潮间带长牡蛎微塑料富集特征研究[J]. *海洋通报*, 2018, 37(5): 106-113.
- Ran W, Teng J, Liu Y L, *et al.* Microplastic ingestion characteristics in the Pacific oysters collected from the intertidal zone of the Bohai Rim[J]. *Marine Science Bulletin*, 2018, 37(5): 106-113 (in Chinese).
- [18] Santana M F M, Ascer L G, Custódio M R, *et al.* Microplastic contamination in natural mussel beds from a Brazilian urbanized coastal region: rapid evaluation through bioassessment[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2016, 106(1-2): 183-189.
- [19] 高春梅, 曹樟, 严寒冰, 等. 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[J]. *水产学报*, 2023, 47(5): 059109.
- Gao C M, Cao Z, Yan C B, *et al.* Traits and distribution of microplastics in stomach and intestinal tract of *Pleuragramma antarcticum* around the South Shetland Islands[J]. *Journal of fisheries of China*, 2023, 47(5): 059109 (in Chinese).
- [20] Avio C G, Gorbi S, Milan M, *et al.* Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels[J]. *Environmental Pollution*, 2015, 198: 211-222.
- [21] 于娟, 许瑞, 魏逾杰, 等. 微塑料对海洋桡足类摄食、排泄及生殖的影响[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2020, 50(3): 73-80.
- Yu J, Xu R, Wei Y J, *et al.* Effect of microplastics on feeding, excretion and reproduction of marine Copepod[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2020, 50(3): 73-80 (in Chinese).
- [22] Cole M, Lindeque P, Fileman E, *et al.* The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*[J]. *Environmental Science & Technology*, 2015, 49(2): 1130-1137.
- [23] Kim D, Chae Y, An Y J. Mixture toxicity of nickel and microplastics with different functional groups on *Daphnia magna*[J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, 51(21): 12852-12858.
- [24] Jeong C B, Kang H M, Lee M C, *et al.* Adverse effects of microplastics and oxidative stress-induced MAPK/Nrf2 pathway-mediated defense mechanisms in the marine copepod *Paracyclopsina nana*[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 2588-2597.
- [25] Tang J, Ni X Z, Zhou Z, *et al.* Acute microplastic exposure raises stress response and suppresses detoxification and immune capacities in the scleractinian coral *Pocillopora damicornis*[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 243(Pt A).
- [26] Fossi M C, Baini M, Panti C, *et al.* Are whale sharks exposed to persistent organic pollutants and plastic pollution in the Gulf of California(Mexico)? First ecotoxicological investigation using skin biopsies[J]. *Comparative Biochemistry & Physiology-Part C: Toxicology & Pharmacology*, 2017, 199: 48-58.
- [27] Besseling E, Foekema E M, Franeker J A, *et al.* Microplastic in a macro filter feeder: humpback whale *Megaptera novaeangliae*[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 95(1): 248-252.
- [28] Lusher A L, Hernandez-Milian G, O'Brien J, *et al.* Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: the true's beaked whale *Mesoplodon mirus*[J]. *Environmental Pollution*, 2015, 199: 185-191.
- [29] 陆化杰, 刘凯, 欧玉哲, 等. 塑料染污及其对不同栖息地、不同食性海洋鱼类影响的研究进展[J]. *水产学报*, 2021, 45(12): 2099-2111.
- Lu H J, Liu K, Ou Y Z, *et al.* Research progress in the microplastics pollution and its effects on marine fishes with different feeding habits and habitats[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(12): 2099-2111 (in Chinese).
- [30] 董正之. 世界大洋经济头足类生物学 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1991: 27-105.
- Dong Z Z. Cephalopod biology of the world's oceanic economy[M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1991: 27-105 (in Chinese).
- [31] 加賀敏樹, 岡本俊, 山下纪生, 等. 平成 27 年度スルメイカ冬季発生系群の資源評価, 平成 27 年度我が国中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- 周辺漁業資源調査資源評価 [R]. 水産庁・水産総合研究センター, 2016: 627-662.
- Toshiki K, Okamoto J, Yamashita N, *et al.* Stock assessment of the winter-spawning stock of Japanese common squid, *Todarodes pacificus* in 2015. Fishery resource survey and resource evaluation around Japan[R]. Fisheries Agency • Fisheries Research Agency, 2016, 627-662 (in Japanese).
- [32] Cai H, Du F, Li L, *et al.* A practical approach based on FT-IR spectroscopy for identification of semi-synthetic and natural celluloses in microplastic investigation[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 669(15): 692-701.
- [33] Lei S, Bing X N, Kathryn L, *et al.* Hassell, *et al.* Microplastics biomonitoring in Australian urban wetlands using a common noxious fish (*Gambusia holbrooki*)[J]. *Chemosphere*, 2019, 228: 65-74.
- [34] 牛献礼. 从统计学的角度理解“平均数”——“平均数”教学实践与思考[J]. *小学教学研究*, 2017(10): 46-49.
- Niu X L. Understanding "average" from the perspective of statistics—— "average" teaching practice and thinking[J]. *Primary School Teaching Research*, 2017(10): 46-49 (in Chinese).
- [35] 陆化杰, 陈新军. 利用耳石微结构研究西南大西洋阿根廷滑柔鱼的日龄、生长与种群结构[J]. *水产学报*, 2012, 36(7): 1049-1056.
- Lu H J, Chen X J. Age, growth and population structure of *Illex argentinus* based on statolith microstructure in Southwest Atlantic Ocean[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(7): 1049-1056 (in Chinese).
- [36] Lipiński M R, Underhill L G. Sexual maturation in squid: quantum or continuum? *South African Journal of Marine Science*[J]. 1995, 15(1): 207-223.
- [37] Zhang F, Wang X H, Xu J Y, *et al.* Food-web transfer of microplastics between wild caught fish and crustaceans in East China Sea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 146: 173-182.
- [38] Su L, Deng H, Li B W, *et al.* The occurrence of microplastic in specific organs in commercially caught fishes from coast and estuary area of east China[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2019, 365: 716-724.
- [39] Zhang F, Wang X H, Xu J Y, *et al.* Food-web transfer of microplastics between wild caught fish and crustaceans in East China Sea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, 146: 173-182.
- [40] Sajjad A, Naghmeh S, Behnam K, *et al.* Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf[J]. *Chemosphere*, 2018, 205: 80-87.
- [41] Koongolla J B, Lin L, Pan Y F, *et al.* Occurrence of microplastics in gastrointestinal tracts and gills of fish from Beibu Gulf, South China Sea[J]. *Environmental Pollution*, 2020, 258: 113734.
- [42] Khalida J, Su L, Jiana L, *et al.* Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China[J]. *Environmental Pollution*, 2017, 221: 141-149.
- [43] Lusher A L, McHugh M, Thompson R C. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2013, 67(1-2): 94-99.
- [44] Neves D, Sobral P, Ferreira, J L, *et al.* Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast[J]. *Marine Pollution Bulletin*. 2015, 101(1), 119-126.
- [45] Christoph D R, Martin G J L, Nicolai F F, *et al.* Plastic ingestion by pelagic and demersal fish from the North Sea and Baltic Sea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2016, 102(1): 134-141.
- [46] 陆化杰, 刘凯, 陈子越, 等. 南海西沙群岛海域鸕乌贼 (*Sthenoteuthis oualaniensis*) 胃组织微塑料沉积特性研究[J]. *海洋与湖沼*, 2022, 53(1): 187-194.
- Lu H J, Liu K, Chen Z Y, *et al.* Characteristics of microplastic gastric content in *Sthenoteuthis oualaniensis* from the South China Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2022, 53(1): 187-194 (in Chinese).
- [47] 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.

Accumulation of microplastics in stomach tissues of Japanese common squid (*Todarodes pacificus*)

LU Huajie^{1,2,3*}, SUN Tianzi¹, LIU Kai¹, OU Yuzhe¹, ZHAO Maolin¹

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

2. Key Laboratory of Marine Ecological Monitoring and Restoration Technologies, Ministry of Nature Resources, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: As a new type of marine environmental pollutant, microplastics are chemically stable and difficult to degrade, and can accumulate in the marine environment for a long time and be deposited in marine organisms, which may eventually pose a threat to human health, and therefore, are of concern to scholars from all areas. To investigate the microplastics uptake characteristics in stomach tissues of *Todarodes pacificus* (*T. pacificus*) and its relationship with individual size (mantle length and body weight), stomach tissue weight and feeding grade. In this study, a total of 30 samples of *T. pacificus* were collected in the East China Sea from January to March 2018 with Chinese production survey vessels. The accumulation characteristics of microplastics in their stomach tissues were investigated using statistical and correlation analysis. The study results showed that the mantle length of *T. pacificus* ranged from 87-208 mm, with an average mantle length of 159.6 mm; body weight ranged from 16-188 g, with an average weight of 91.6 g; stomach weight ranged from 0.1-7.3 g, with an average stomach weight of 0.71 g. The presence of microplastics was found in the stomach tissues of 16 samples of *T. pacificus*, with a detection rate of 53.3%. In this study, 18 microplastic particles were found, and the abundance of microplastic ranged from 0 to 3 items/individual, with an average abundance of 0.6 items/individual; the size of particles ranged from 0.332 to 4.337 mm, with an average particle size of 1.252 mm, with 72% of the microplastic particles smaller than 1 mm. The colors of microplastics were mainly black (38.9%), white (33.3%), blue (22.2%) and gray (5.6%), and they consisted of cotton, polyester and rayon, accounting for 44.5%, 33.3% and 22.3% of the total, respectively. The correlation analysis showed that the content of microplastics in the stomach tissues of *T. pacificus* was not significantly correlated with its stomach tissues weight and feeding grade, but was significantly and positively correlated with mantle length, body weight and age. [Conclusion] The content of microplastics in the stomach tissues of *T. pacificus* increased gradually with the increase of mantle length, body weight and age. The deposition of microplastics in the stomach tissues of *T. pacificus* gradually increased with their individual growth, which indicated that their intake of microplastics was greater than its excretion. Whether this accumulation phenomenon continues unceasingly or the dynamic balance of intake and excretion is maintained when a certain amount is reached requires further study.

Key words: *Todarodes pacificus*; stomach tissue; microplastics; correlation; accumulation characteristics; East China Sea

Corresponding author: LU Huajie. E-mail: hjlu@shou.edu.cn

Funding projects: National Key R & D Program of China (2019YFD090402); National Natural Science Foundation of China (41506184)