南海西沙群岛海域鸢乌贼 Sthenoteuthis oualaniensis 胃组织微塑料沉积特性研究*

陆化杰^{1, 2, 3, 4} 刘 凯¹ 陈子越¹ 宁 欣¹ 王洪浩¹ 何静茹¹ 陈炫妤¹ (1. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 2. 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. 国家远洋渔业工程技术研究中心 上海 201306; 4. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站 上海 201306)

摘要 随着微塑料在全球海洋环境和鱼类中被发现,海洋微塑料污染越来越受到各界学者的关注。然而头足类微塑料的研究甚少,南海鸢乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*)对微塑料的摄取特性的研究更是未见报道。根据 2020 年 3~5 月中国生产调查船于南海西沙群岛海域采集的 36 尾鸢乌贼样本,对其胃组织微塑料沉积特性进行了研究。结果表明, 36 尾鸢乌贼样本中有 33 尾胃组织中发现微塑料, 共计 88 个,单个样本微塑料含量介于 0~6 个,平均为 2.44 个。微塑料长度范围为 0.121~2.748 mm,平 均为 0.878 mm,且 75.0%的微塑料长度小于 1 mm;颜色包括黑色(39.8%)、蓝色(31.8%)、透明 (10.2%)、白色(6.8%)、红色(6.8%)和黄色(4.6%) 6 种,材质主要由棉(cotton) (50.0%)、聚对苯二甲酸 乙二醇酯(PET) (21.6%)、人造丝(Rayon) (10.2%)、聚酯纤维(Polyester) (9.1%)、聚苯乙烯泡沫塑料 (Styrofoam) (4.5%)、聚乙烯(PE) (2.3%)和丙烯酸塑料(acrylic) (2.3%) 7 种组成。相关性分析表明,南 海鸢乌贼胃组织微塑料的含量与胃重、摄食强度无显著相关性,但与平均胴长、体重、年龄呈显著 线性相关。研究结果认为,南海鸢乌贼胃组织微塑料的沉积随着个体的生长而逐渐积聚,这种积聚与 自身生长可能呈对数函数关系(*a*>1)。

关键词 鸢乌贼; 南海; 胃组织; 微塑料; 相关性 中图分类号 S931; Q958; X55 doi: 10.11693/hyhz20210600145

随着塑料制品产量的增加,几乎全球海洋都存 在塑料污染的问题(Dauvergne, 2018)。据统计,全球 每年排放到海洋中的塑料垃圾大约有 800 万 t,共生 产微塑料垃圾大约 150 万 t (Lau *et al*, 2020)。微塑料 是指直径小于 5 mm 的塑料碎片(杨璐等, 2018),在 海洋中以分布范围广(李道季, 2019)、降解速度慢(扈 瀚文等, 2020)和毒理性复杂(马乃龙等, 2018)为特 点。微塑料污染在海洋食物网的各个营养级中均有 发现,被证实存在于多种海洋生物中(Kim *et al*, 2017;武芳竹等, 2019),已经成为全球海洋环境研 究的一个热点。鸢乌贼 *Sthenoteuthis oualaniensis* 隶 属头足纲(Cephalopoda)、柔鱼科(Ommastrephidae)、 鸢乌贼属(*Sthenoteuthis*),为暖水大洋性头足类(王尧 耕等,2005), 广泛分布于太平洋的热带及亚热带、西 北印度洋、南海等海域(陈新军等,2013; 陆化杰等, 2014), 具有较高的资源储量(张鹏等,2010)。此外, 鸢乌贼作为南海的重要经济头足类(张鹏等,2010), 在当地海洋生态系统中也处于关键种的地位(谢嘉 仪等,2021), 国内外学者已对其渔业生物学(朱凯等, 2020; 陆化杰等,2021a)、硬组织(陆化杰等,2020a; 陆化杰等,2020b)、年龄生长(招春旭等,2021)、渔情 预报(谢恩阁,2020)等进行了研究,但有关头足类微 塑料的研究相对较少(陆化杰等,2021b),而针对南 海鸢乌贼微塑料沉积特性的研究更是尚未见报道。 鉴于此,本文根据中国生产调查船2020年3~5月在 南海西沙群岛海域采集的鸢乌贼样本,对其胃组织

^{*} 国家重点研发计划项目, 2019YFD090402 号; 国家自然科学青年基金项目, NSFC 4150618 号。陆化杰, 博士, 副教授, 硕 士生导师, E-mail: hjlu@shou.edu.cn

微塑料的沉积特性进行了研究,分析其胃组织微塑料含量与其生物学信息(胴长,体重,年龄,摄食强度和胃重)的关系,并对胃组织中微塑料的积聚趋势进行推测,为进一步了解头足类对微塑料的摄取特性以及微塑料对头足类生存、繁殖等影响研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间和海域

采样海域位于南海西沙群岛海域,采样时间 2020 年 3 月 3 日~5 月 29 日。调查海域为 16°35′~18°12′N、109°37′~112°23′E (图 1)。每天从渔 获物中随机抽取鸢乌贼样本 20~30 尾,记录站点并冷 冻保存,整个调查期间共采集鸢乌贼样本 836 尾。调 查渔船为海南省三亚榆丰渔业公司所属的灯光罩网 渔船"琼三亚 72057"。



1.2 生物学及胃组织采样

综合考虑采样时间(尽可能长时间序列), 样本个 体大小(尽量包含不同规格大小的样本)、采样空间范 围(尽可能涵盖全部的采样海域)和样本年龄分布(尽 可能涵盖不同年龄段个体), 从采集的 836 尾鸢乌贼 样本中选取 36 尾鸢乌贼样本进行微塑料研究, 并对 其胴长(mantle length, ML)、体重(body weight, BW)、 性别和摄食强度等渔业生物学数据进行测量和鉴定, 在此过程中长度精确至 1 mm, 重量精确至 1 g, 性成 熟度划分参照头足类的性成熟度分期标准(木所英昭 等, 2016), 摄食强度采用 5 级标准(加賀敏樹等, 2016)。获取生物学数据后,将鸢乌贼进行解剖,对其 胃组织取出称重(精确至 0.1 g)后放入广口玻璃瓶中 冷冻保存(在此过程中应注意解剖前用超纯水洗净双 手以及实验仪器)。

1.3 微塑料测定

将选取的胃组织样本在干净、无污染的环境下进 行解冻、消解、抽滤、静置干燥、显微镜挑选、微塑 料测定等一系列操作。具体如下:

1.3.1 消解 将采集的胃组织样本放入预先清洗 (自来水清洗干净后用超纯水冲洗 2~3 遍)的 250 mL 的玻璃烧瓶中,加入 80~100 mL 30%的过氧化氢溶液 后用锡纸将瓶口盖住,以防污染和溶液溅出。将封口 后的烧瓶放入 HZ-9612K 恒温振荡器中保持温度 65 °C, 80 r/min,放置 72 h (Cai *et al*, 2019)。

1.3.2 抽滤 将消解后的组织溶液用型号GM-1.0A, 功率160 W, 抽气速度 60 L/min, 极限压力 0.08 Mpa 的隔膜真空泵组合过滤仪器进行抽滤。滤膜 型号为 Millipore Nylon NY2004700。每一胃组织样本 过滤完成后,将实验仪器用自来水清洗干净后再用超 纯水冲洗 2~3 遍方可进行过滤(Cai *et al*, 2019)。

1.3.3 静置干燥 每一次过滤完成后,将滤膜取 出,放入干净无污染的有盖培养皿中,放置于无风温 暖干燥处静置干燥(Cai *et al*, 2019)。

1.3.4 显微镜观察挑选 滤膜干燥完成后在蔡司 显微镜(Carl Zeiss Discovery V8 Stereo)下进行对滤渣 的挑选,利用 AxioCam 数字摄像机进行图像显示。将 疑似微塑料挑出有顺序置于有标号的卡片纸上。每一 个组织样本挑选完成后,利用 AxioCam 数字摄像机 进行疑似微塑料图像的摄取,并记录放大倍数。疑似 微塑料挑选过程中尽量在无风条件下进行,及时将 培养皿盖住,以防在挑选过程中的外界干扰和污染 (Yang *et al*, 2015)。

1.3.5 微塑料测定 把卡片纸上已经挑出的疑似 微塑料用 Micro-FTIR (Nicolet iN 10, Thermo Fisher, USA)进行微塑料的鉴定,匹配标准为匹配度达到 70%以上。将鉴定结果是微塑料的样本对其种类和数 量进行分类记录,并记录颜色,为之后分析做准备。 微塑料测定完成后,利用 ImageJ (×64)图片处理软件 对其进行长度测量(Yang *et al*, 2015; Cai *et al*, 2019)。 1.4 年龄获取

样本年龄通过鸢乌贼耳石微结构获取,耳石研 磨参照陆化杰(2012)的方法进行,研磨成功后的鸢 乌贼耳石微结构如图 2 所示。研磨成功后,按照根 据生长纹的宽度和清晰程度依次从由核心到侧区, 再由侧区到背区读取轮纹个数,并按照耳石生长一 轮为 1 d 的假设,以此读取耳石的年龄(陆化杰等, 2020a)。计数过程中,每一个耳石的轮纹计数需 2 人 各计一次,每人计数的轮纹数目与均值的差值低于 5%,则认为计数准确,否则再计数 2 次取 4 次平均 值(陆化杰等,2012)。



图 2 耳石微结构示意图 Fig.2 Statolith microstructure of S. oualaniensis

1.5 统计分析

(1) 按照微塑料的数量、材质、颜色、尺寸对南 海西沙群岛海域鸢乌贼胃组织中微塑料沉积特性进 行统计分析(Zhang *et al*, 2020)。

(2)利用皮尔逊相关性分析(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)、年 龄、胃重、摄食等级之间的相关性(Su *et al*, 2019b)。

(3) 按照胃组织中微塑料含量个数对样本进行 分组, 计算每组所有样本的胴长、体重、年龄的平均 值(牛献礼, 2017)。

(4)利用最小二乘法拟合胃组织微塑料摄取数量与相同微塑料含量样本的平均胴长、平均体重和平均年龄的关系(陆化杰等, 2012)。

整个数据处理和图形制作在 Microsoft Office Excel 2016 和 SPSS 20 软件进行。

2 结果

2.1 生物学信息

鸢乌贼样本胴长范围为 63~170 mm, 平均胴长 为 118.1 mm; 体重范围为 17~174 g, 平均体重为 78.6 g; 胃重范围为 0.38~8.56 g, 平均胃重为 2.46 g; 摄食强度范围为 1~4 级, 分布较为均匀。

2.2 胃组织中微塑料的特征

研究结果显示、在 36 尾鸢乌贼中有 33 尾 (91.67%) 胃组织中发现了微塑料、数量共计 88 个、单 个样本微塑料含量介于 0~6 个, 多数集中于 1~2 个, 最多为6个,平均为2.44个。 鸢乌贼胃组织微塑料形 状绝大多数为纤维状, 仅发现3个球状以及1个薄膜 状样本(图 3)。微塑料长度范围为 0.121~2.748 mm, 平 均长度为 0.878 mm, 其中 75.0%的微塑料尺寸小于 1 mm (图 4a)、其余尺寸均介于 1~3 mm (图 4a)。颜色 包括黑、蓝、透明、白、红、黄6种,其中黑色和蓝 色所占比例较高,为 39.8%和 31.8%,其他 4 种颜色 (透明、白、红、黄)依次占比分别为 10.2%、6.8%、 6.8%和 4.6% (图 4b)。微塑料材质主要为棉(cotton)、 聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate PET)、人造丝(rayon)、聚酯纤维(polyester)、聚苯乙 烯泡沫塑料(styrofoam)、聚乙烯(PE)和丙烯酸塑料 (acrylic) 7 种、占比分别为 50%、21.6%、10.2%、9.1%、 4.5%、2.3%和 2.3% (图 4c)。

2.3 胃组织中微塑料含量与胃重和摄食强度之间关系

相关性分析表明, 南海鸢乌贼胃组织微塑料含 量与胃重(r=0.302)、摄食强度(r=0.289)不存在显著相 关性。



图 3 南海鸢乌贼胃组织中微塑料形状图

Fig.3 Shapes of microplastics gastric tissue of *S. oualaniensis* from the South China Sea 注: a. 纤维状, b. 薄膜状, c. 球状



图 4 南海鸢乌贼胃组织中微塑料尺寸(a)、颜色(b)、材质(c)比例分布情况

Fig.4 Proportion of size (a), color (b), and texture of material (c) of microplastics gastric tissue of *S. oualaniensis* from the South China Sea

2.4 胃组织中微塑料含量与胴长、体重之间关系

相关性分析表明,南海鸢乌贼胃组织微塑料含 量与胴长间存在显著相关性(r=0.742)。由于胃组织 样本中微塑料含量范围为 0~6 个/尾,以微塑料含量 为标准将其分为 7 组(微塑料含量分别为 0、1、2、3、 4、5、6 个的所有鸢乌贼胴长为 1 组),并求出每组 的平均胴长。经拟合,微塑料含量与平均胴长呈线 性关系(图 5a)。

$$y=0.086x-7.711 \ 3(R^2=0.963 \ 6),$$
 (1)

式中, x 为平均胴长; y 为微塑料含量。

相关性分析表明,南海鸢乌贼胃组织微塑料含 量与体重间存在显著相关性(*r*=0.782)。同胴长分组一 样,按微塑料含量个数将其分为 7 组(微塑料含量分 别为 0、1、2、3、4、5、6个的所有鸢乌贼体重为 1 组),求出每组平均体重。经拟合,微塑料含量与平均 体重也呈线性关系(图 5b)。

y=0.005 61*x*-1.989 7(*R*²=0.976 7), (2) 式中,*x*为平均体重;*y*为微塑料含量。





2.5 胃组织中微塑料含量与年龄之间关系

相关性分析表明,南海鸢乌贼胃组织微塑料含 量与年龄之间也存在显著相关性(*r*=0.754)。相同道理, 以微塑料含量为标准将其分为7组,并求出每组样本 的平均年龄。经拟合,微塑料含量与平均年龄也呈线 性关系(图 6)。

y=0.060 2x-8.228 5(R²=0.956 8), (3) 式中, x 为平均年龄; y 为微塑料含量。



图 6 南海鸢乌贼年龄、平均年龄与胃组织样本中微塑料 含量散点图

3 讨论

3.1 微塑料含量分布特性

本研究显示, 36 尾南海鸢乌贼样本中有 33 尾胃 组织中发现了微塑料,所占比例为 91.67%,微塑料 数量为 88 个,平均含量为 2.44 个/尾。Gong 等(2021) 在对同为柔鱼科的茎柔鱼 Dosidicus gigas 微塑料摄 入的研究中发现, 83.33%的胃组织样本中含有微塑料, 平均丰度为(7.42±4.88) 个/尾。相比于南海鸢乌贼, 生 活在大洋的茎柔鱼也有较高的微塑料摄取量, 其可 能原因是茎柔鱼属于高度洄游物种, 生活海域较广 (Stewart *et al*, 2013; 陆化杰等, 2021b), 还可能由于 茎柔鱼食物来源范围广, 包括大洋性、底栖性鱼类, 头足类, 甲壳类, 而这食物组成也会对其胃组织微塑 料沉积产生一定影响(Alegre *et al*, 2014; Gong *et al*, 2020; 陆化杰等, 2021b)。本研究所发现的微塑料尺寸 上大部分小于 1 mm (74.4%), 这与 Gong 等(2021)、 Zhang 等(2019, 2020)研究结果相似。本研究共发现 6 种颜色的微塑料, 其中以黑色、蓝色为主, 与其他相 关微塑料研究在颜色相似, 但所占比例略有不同, 可 能反映不同海域微塑料分布特性不同(陆化杰等, 2021b; Gong *et al*, 2021)。

本研究发现, 鸢乌贼胃组织微塑料形状为常见的纤维状、球状和薄膜状, 材质主要有 cotton (50.0%)、PET (21.6%)、rayon (10.2%)、polyester (9.1%)、styrofoam (4.5%)和 PE (2.3%)、acrylic (2.3%)7种材质。与本研究相比, Gong 等(2021)通过对茎柔鱼组织的研究, 仅发现 2种相同材质微塑料(PET, acrylic)和3种不同材质微塑料(玻璃纸 cellophane, 醇酸树脂 alkyd, 聚丙烯 polypropylene),这可能由于不同材质微塑料在海洋环境中的分布特点不同导致(Jabeen *et al*, 2017;武芳竹等, 2019),也可能与这两种头足类的栖息环境(王尧耕等, 2005)不同有关。对比 Zhang 等(2019, 2020)、Su 等(2019a)和 Neves等 (2015)、Rummel等(2016)的研究发现,本研究中微塑料测定结果显示出 cotton 材质微塑料占有比例稍高、

Fig.6 Scatter plot of age, average age, and microplastic content in gastric tissue of *S. oualaniensis* from the South China Sea

具体原因后续还要深入研究。

3.2 胃组织中微塑料含量与胃重、摄食等级及胴长、 体重、年龄间关系

本研究显示、南海鸢乌贼胃组织样本中微塑料 含量与胃重、摄食强度间不存在显著相关性。木所英 昭等(2016)和加賀敏樹等(2016)的研究表明、胃重只 能反映整个胃的实际重量,摄食强度则是反映了胃 的饱满程度、胃重和摄食等级会根据摄食情况产生 变化,具有瞬时性,由此推测胃组织中微塑料的积聚 并非瞬间摄食决定,因此胃含物的重量和摄食强度 不能用于推断微塑料的摄取量。本研究还表明、南海 鸢乌贼胃组织中微塑料含量与平均胴长、体重和年龄 具有显著的正相关性。国内外学者曾对微塑料在鱼类 体内的富集特性开展了研究,结果显示,个体体长和 体重相对较大的鱼类其体内微塑料含量要明显高于 尺寸较小的鱼类(Su et al, 2019b); 还有研究表明微塑 料在鱼类体内的聚集与体长、体重呈明显的正相关关 系(Huang et al, 2020), 这与本研究相关性研究结果基 本一致。

本研究表明南海鸢乌贼胃组织中微塑料的含量 和平均年龄也呈现显著正相关性、即随着年龄的增 长、南海鸢乌贼胃组织中微塑料含量也会随之增长。 由此推测, 南海鸢乌贼对微塑料的摄取是长期积聚 而成、但是、这种积聚是否存在饱和点、达到饱和点 后不再摄入、还是在体内达到一定沉积量时保持摄 入和排出的动态平衡、由于本研究的样本特性所限、 尚不得而知、这可能也是胃组织中微塑料含量与平 均胴长、体重和年龄之间均呈线性关系的原因。因此、 本研究推测当样本量以及样本大小在理想条件下, 胃组织中微塑料含量与胴长、体重和年龄之间应呈现 出对数函数(a>1)关系,这将是今后研究的关注点之 一。虽然尚未有太多研究证明头足类胃组织微塑料含 量与年龄与之间的正相关关系,但陆化杰等(2012)在 对头足类年龄生长的研究中证明, 头足类胴长、体重 与年龄存在显著正相关关系,这也侧面支撑了本研 究结果的可靠性。本文拟合了胃组织中微塑料含量与 平均胴长、体重和年龄之间的曲线、尤其是拟合了微 塑料含量与平均年龄的曲线、填补了相关空白。

4 结论与展望

本文对南海鸢乌贼胃组织样本中微塑料的含量、 尺寸、形状、颜色和材质,以及所占比例进行了比较 全面的研究,对南海鸢乌贼胃含物中微塑料含量与 平均胴长、体重、年龄间相关性进行分析,并建立了 曲线方程,弥补了相关空白。目前为止,头足类体内 微塑料的研究相对较少(陆化杰等,2021b;Gong et al, 2021),而对于微塑料含量与头足类胴长、体重之间关 系的研究更是少见,今后研究应对微塑料在头足类 甚至鱼类体内的积聚呈现出 a>1 的对数函数关系的 推测进行验证。同时,由于研究样本通过金属钓具获 取,在样本初始来源上避免了塑料污染,虽然在冷冻 运输过程中用塑料袋包装,但课题组在实际挑选样 本过程中摈弃了直接与塑料袋子直接接触的边缘样 本,同时研究对象为鸢乌贼的胃组织,而胃组织本身 置于鸢乌贼身体内部,已经最大程度降低了采样过 程中的塑料污染问题。

此外,研究证实微塑料对人体肠道上皮、黏膜层 等肠道环境产生危害(Huang et al, 2021),并且微塑料 浓度变化与细胞死亡发生率相似(Yarbakht et al, 2021),而鸢乌贼作为南海重要经济头足类(张鹏等, 2010),扮演着海产蛋白和养殖饲料的重要角色,其 体内微塑料是否会随着食物链最终流入人体中以及 流入人体的转化率,目前还不得而知,还需要后续深 入研究。另外,本文仅研究了南海鸢乌贼胃含物中的 微塑料,其他组织例如鳃、消化腺、肌肉等是否存在 微塑料,以及其他头足类对微塑料的摄取特性和头 足类摄取微塑料后生长发育受到哪些影响,还需进 一步研究。

参考文献

- 马乃龙,程勇,张利兰,2018. 微塑料的生态毒理效应研究进 展及展望[J]. 环境保护科学,44(6):117-123.
- 王尧耕,陈新军,2005.世界大洋性经济柔鱼类资源及其渔业[M].北京:海洋出版社:284-295.
- 牛献礼, 2017. 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(10): 46-49.
- 朱凯,张立川,肖楚源,等,2020. 南海鸢乌贼微型群雌性个 体繁殖力研究[J]. 渔业科学进展,41(6):140-148.
- 李道季, 2019. 海洋微塑料污染状况及其应对措施建议[J]. 环 境科学研究, 32(2): 197-202.
- 杨璐, 许超, 张智力, 等, 2018. 微塑料的研究进展[J]. 绿色包装(9): 63-66.
- 张鹏,杨吝,张旭丰,等,2010. 南海金枪鱼和鸢乌贼资源开 发现状及前景[J]. 南方水产,6(1): 68-74.
- 陆化杰, 王从军, 陈新军, 2014. 4-6 月东太平洋赤道公海鸢乌 贼生物学特性初步研究[J]. 上海海洋大学学报, 23(3): 441-447.
- 陆化杰, 宁欣, 刘维, 等, 2021a. 不同气候条件下南海西沙 海域鸢乌贼(Sthenoteuthis oualaniensis)渔业生物学比较 研究[J]. 海洋与湖沼, 52(4): 1029-1038.

- 陆化杰,刘凯,欧玉哲,等,2021b. 微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, 45(12):2099-2111.
- 陆化杰,张旭,童玉和,等,2020a. 中国南海西沙群岛海域鸢 乌贼耳石微结构及生长特性[J]. 水产学报,44(5): 767-776.
- 陆化杰, 陈子越, 宁欣, 等, 2020b. 中国南海西沙群岛海域鸢 乌贼角质颚色素沉积变化[J]. 生态学杂志, 39(5): 1600-1608.
- 陆化杰,陈新军,2012.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.水产学报,36(7): 1049-1056.
- 陈新军,韩保平,刘必林,等,2013.世界头足类资源及其渔 业[M].北京:科学出版社:28-31.
- 武芳竹,曾江宁,徐晓群,等,2019.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,41(2):85-98.
- 招春旭,吴文秀,邱星宇,等,2021. 南海不同海域鸢乌贼生 长与死亡参数比较[J]. 上海海洋大学学报,30(2):294-300.
- 扈瀚文,杨萍萍,薛含含,等,2020.环境微塑料污染的研究 进展[J]. 合成材料老化与应用,49(1):97-102.
- 谢恩阁, 2020. 基于海洋环境因子南海外海鸢乌贼渔情预报研 究[D]. 上海: 上海海洋大学: 61-69.
- 谢嘉仪,张丽姿,吴文秀,等,2021. 南沙群岛海域鸢乌贼摄 食习性与营养生态位[J]. 水产学报,1-11, http://kns.cnki. net/kcms/detail/31.1283.s.20210311.1343.002.html.
- 木所英昭,後藤常夫,高原英生,等,2016. 平成27(2015)年度 スルメイカ秋季発生系群の資源評価[M]. 水産庁·水産総 合研究 センター: 663-699.
- 加賀敏樹, 岡本俊, 山下纪生, 等, 2016. 平成 27(2015)年度ス ルメイカ冬季発生系群の資源評価[M]. 水産庁·水産総合 研究 センター: 627-662.
- ALEGRE A, MÉNARD F, TAFUR R, et al, 2014. Comprehensive model of jumbo squid *Dosidicus gigas* trophic ecology in the northern Humboldt current system [J]. PLoS One, 9(1): e85919.
- CAI H W, DU F N, LI L Y, et al, 2019. 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, 669: 692-701.
- DAUVERGNE P, 2018. Why is the global governance of plastic failing the oceans? [J]. Global Environmental Change, 51: 22-31.
- GONG Y, LI Y K, CHEN X J, et al, 2020. Trophic niche and diversity of a pelagic squid (*Dosidicus gigas*): a comparative study using stable isotope, fatty acid, and feeding apparatuses morphology [J]. Frontiers in Marine Science, 7: 642.
- GONG Y, WANG Y X, CHEN L, *et al*, 2021. Microplastics in different tissues of a pelagic squid (*Dosidicus gigas*) in the northern Humboldt Current ecosystem [J]. Marine Pollution Bulletin, 169: 112509.
- HUANG J S, KOONGOLLA J B, LI H X, et al, 2020.

Microplastic accumulation in fish from Zhanjiang mangrove wetland, South China [J]. Science of the Total Environment, 708: 134839.

- HUANG Z Z, WENG Y, SHEN Q C, *et al*, 2021. Microplastic: a potential threat to human and animal health by interfering with the intestinal barrier function and changing the intestinal microenvironment [J]. Science of the Total Environment, 785: 147365.
- JABEEN K, SU L, LI J N, et al, 2017. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China [J]. Environmental Pollution, 221: 141-149.
- KIM D, CHAE Y, AN Y J, 2017. Mixture toxicity of nickel and microplastics with different functional groups on *Daphnia* magna [J]. Environmental Science & Technology, 51(21): 12852-12858.
- LAU W W Y, SHIRAN Y, BAILEY R M, *et al*, 2020. Evaluating scenarios toward zero plastic pollution [J]. Science, 369(6510): 1455-1461.
- NEVES D, SOBRAL P, FERREIRA J L, et al, 2015. Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast [J]. Marine Pollution Bulletin, 101(1): 119-126.
- RUMMEL C D, LÖDER M G J, FRICKE N F, et al, 2016. Plastic ingestion by pelagic and demersal fish from the North Sea and Baltic Sea [J]. Marine Pollution Bulletin, 102(1): 134-141.
- STEWART J S, GILLY W F, FIELD J C, *et al*, 2013. Onshore-offshore movement of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) on the continental shelf [J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 95: 193-196.
- SU L, DENG H, LI B W, et al, 2019a. The occurrence of microplastic in specific organs in commercially caught fishes from coast and estuary area of east China [J]. Journal of Hazardous Materials, 365: 716-724.
- SU L, NAN B X, HASSELL K L, et al, 2019b. Microplastics biomonitoring in Australian urban wetlands using a common noxious fish (*Gambusia holbrooki*) [J]. Chemosphere, 228: 65-74.
- YANG D Q, SHI H H, LI L, et al, 2015. Microplastic pollution in table salts from China [J]. Environmental Science & Technology, 49(22): 13622-13627.
- YARBAKHT M, SARAU G, KLING L, et al, 2021. MO015: analyzing the effect of microplastic particles on human podocytes [J]. Nephrology Dialysis Transplantation, 36(S1): gfab079.0011.
- ZHANG C N, WANG S D, PAN Z K, et al, 2020. Occurrence and distribution of microplastics in commercial fishes from estuarine areas of Guangdong, South China [J]. Chemosphere, 260: 127656.
- ZHANG F, WANG X H, XU J Y, *et al*, 2019. Food-web transfer of microplastics between wild caught fish and crustaceans in East China Sea [J]. Marine Pollution Bulletin, 146: 173-182.

CHARACTERISTICS OF MICROPLASTIC GASTRIC CONTENT IN STHENOTEUTHIS OUALANIENSIS FROM THE SOUTH CHINA SEA

LU Hua-Jie^{1, 2, 3, 4}, LIU Kai¹, CHEN Zi-Yue¹, NING Xin¹, WANG Hong-Hao¹, HE Jing-Ru¹, CHEN Xuan-Yu¹

(1. College of Marine Sciences of Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Marine Ecological Monitoring and Restoration Technologies, Shanghai 201306, China; 3. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai 201306, China; 4. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract With the discovery of microplastics in the global marine environment and marine animals, fishes, marine microplastics pollution has attracted more and more attention. However, little was known about the cases of microplastics in cephalopods, and the ingestion of microplastics by *Sthenoteuthis oualaniensis* in the South China Sea remains unknown. The microplastic contents in the stomach of 36 *S. oualaniensis* samples collected from the South China Sea in March to May in 2019 were analyzed. Eighty-eight microplastic pieces were observed from 33 stomach tissues. The abundance of the microplastics ranged from 0 to 6 items/individual, on average of 2.44 items/individual. The length ranged 0.121~2.748 mm, on average of 0.878 mm. Seventy-five percent of the microplastics were less than 1 mm in size. The colors were black, blue, transparent, white, red, and yellow, accounting for 39.8, 31.8, 10.2, 6.8, 6.8 and 4.6 percent, respectively. The materials of microplastics were mainly composed of cotton, PET, rayon, polyester, styrofoam, PE, and acrylic, accounting for 50.0, 21.6, 10.2, 9.1, 4.5, 2.3 and 2.3 percent, respectively. In addition, the microplastic content in stomach had no significant correlation with the stomach weight and feeding grade but significantly positive correlation with the mantle length (ML), body weight (BW), and age. This study indicated that the retention of microplastics in the stomach of *S. oualaniensis* accumulated with individual growth, and that if sample size were sufficient, the relationship between microplastic accumulation and the growth would present a logarithmic function.

Key words Sthenoteuthis oualaniensis; South China Sea; stomach tissue; microplastics; correlation