

# 水产养殖过程中微塑料的污染现状与毒性效应研究进展

张月冉 赵 晴 熊子瑜 杨依林平  
(北京工商大学生态环境学院, 北京 100048)

**摘要:** 我国作为水产养殖产量最大的国家, 在水产养殖过程中仍会产生大量养殖废水、废渣, 其中不乏新兴污染物中的微塑料。在水产养殖排放污染物中, 同样监测到不同种类、不同浓度水平的微塑料存在, 微塑料新污染物所产生的环境与生态风险受到愈发关注。本文综述了水产养殖过程中微塑料的来源、污染现状、分布特征、对水产生物的毒性效应及风险。综合发现外源性输入的是水产养殖环境中的微塑料主要来源, 以 PE、PS、PP 为主。微塑料自身毒性和与有机、无机污染物的复合毒性会对人类社会带来很大的风险。建议相关产业能通过物理、化学、生物等技术手段减少水产养殖过程及水产品中的微塑料。

**关键词:** 水产养殖; 微塑料 (MPs); 毒性效应; 多环芳烃

(PAHs); 重金属

塑料污染已是 21 世纪以来人类面临的最严峻的环境挑战之一。在过去的 20 年中, 塑料产量增长了 50 倍, 在全球范围内约生产了 9200 亿吨 (Mt), 全球塑料产量达到 368.8 亿吨, 预计 9 年内将翻一番。相对于那些不可降解的微塑料来说, 直径小于 5 毫米的塑料颗粒——微塑料 (MPs)。

微塑料的化学组成主要包括聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、聚苯乙烯 (PS) 等。根据厚度、质地和形状, 也可将微塑料的形态进行简单划分。下面对部分中国养殖水体中水微塑料的浓度和特性进行了梳理, 如表格 1 所示。

表格 1 水产养殖系统中微塑料的浓度和特性

地点	来源	丰度	尺寸	形状	种类
象山湾	海水	$8.9 \pm 4.7$ items/m <sup>3</sup>	$1.54 \pm 1.53$ mm	纤维、薄膜、碎片、泡沫	PE、PP、PS、PA、PET、纤维素
	泥沙	$17.39 \pm 21.53$ items/kg	$1.33 \pm 1.69$ mm	纤维、薄膜、碎片、泡沫	PE、PP、PET、橡胶、纤维素
常州鱼塘	淡水	13–17 items/L	<0.1–0.5 mm	纤维、薄膜、碎片、颗粒	PE、PP、PS、PA、PET
广州鱼塘	淡水	42.1 items/L	<0.1–3 mm	纤维、薄膜、颗粒、碎片	PP、PE
茅尾海	海水	1.2–10.1 items/L	<0.25–5 mm	纤维、薄片、泡沫、碎片	PES、PP、PE、PA、PS、POM、PU、PBT
上海稻鱼共培养系统	淡水	$0.4 \pm 0.1$ items/L	<1–5 mm	纤维、薄膜、颗粒、碎片	PE、PVC、PP
	泥沙	$10.3 \pm 2.2$ items/kg	<1–5 mm	纤维、薄膜、颗粒、碎片	PE、PVC、PP
马鞍群岛人工鱼礁	淡水	$0.2 \pm 0.1$ items/L	1–5 mm	纤维、碎片、薄膜	PA、PE、PP、PS、纤维素、玻璃纸
	泥沙	$80.0 \pm 14.1$ items/kg	0.05–1 mm	纤维、碎片、薄膜	PA、PE、PP、PS、纤维素、玻璃纸
渤海和黄海沿岸的海参养殖场	泥沙	20–1040 items/kg	<1 mm	纤维、碎片、薄膜	玻璃纸聚酯, PET, PE, PP, PA, PVA, PAN
龙角湾养虾场	海水	250–5150 items/m <sup>3</sup>	0.3–5 mm	纤维、碎片、薄膜、颗粒	PE、PET、PS、PP、PC、PA、PAA

据调查, 微塑料分布广泛且微塑料可以吸附周围环境中的其他污染物, 若微塑料进入到水产养殖行业, 不仅会使其对水产品造成毒害作用, 还会通过食物链对生态系统安全和人类安全构成巨大挑战。

## 一、水产养殖过程中微塑料的污染现状

### (一) 水产养殖中微塑料来源及污染现状

微塑料和水产养殖的联系非常密切且复杂。水产养殖过程中会使用大量塑料制品, 这些对水产品捕捞和运输提供了很大的便利, 但同时也将释放出大量的微塑料, 最终进入水体和沉积物中。水产养殖中使用的水源来源广泛, 如地表水和地下水、湖泊和河流、工业废水和降雨等, 这些水体中几乎都含有微塑料。在陆地上、船舶运输过程中释放的塑料垃圾、渔业捕捞所使用的渔具和养殖设施中使用的设备等老化降解后, 也都会形成微塑料进入到水体中。此外, 人工饲料和兽药也是水产养殖中微塑料的另一重要来源。

不同养殖水域收集的 MPs 成分、形状较为统一, 且均与养殖用塑料制品存在密切的相关性。检测发现, MPs 的成分以 PE、PS、PP 为主。这可能是由于上述材质的塑料制品常用于水产养殖活动中。据调查, 在我国北部湾海水中, 来自养殖浮筏脱落的聚苯乙烯 (polystyrene, PS) 泡沫微塑料占海洋塑料垃圾的比例高达

59.8%。

### (二) 水产生物体内微塑料的分布特征

现有研究表明, 微塑料在水生生物体内主要分布在胃肠道、鳃以及肝脏中。暴露于 PE-MPs 对水生生物具有明显的生物积累性。对于鱼类 (幼年黄颡鱼) 而言, 积累规律为肠道 > 鳃 > 肝脏。肝脏、鳃和肠道的 SOD 活性显著。肝、鳃中 CAT 活性高于 5000 mg/L ( $P < 0.05$ )。在 5000 mg/L 以上时, 肠组织明显增加 ( $P < 0.05$ )。肝、鳃和肠中的 GST 活性显著增加, 肝、鳃和肠中 GSH 水平均高于 5000 mg/L ( $P < 0.05$ ) 在 5000 mg/L 以上显著升高 ( $P < 0.05$ )。

一些研究还指出, 胃肠道中高达 15% 的微塑料有可能转移到鱼类的肌肉组织中。不同食性会对水产生物体内微塑料的分布产生影响, 滤食性鱼类体内微塑料丰度最低, 且鳃部微塑料丰度大于肠道微塑料丰度; 杂食性鱼类体内微塑料丰度显著大于滤食性鱼类。

此外, 栖息水层不同也会对生物体内微塑料分布产生影响: 栖息于表层和中上层的鱼类体内微塑料平均丰度最低, 栖息于底层水体的鱼类体内微塑料平均丰度最高。

微塑料的粒径大小和形态也会影响其在水产生物体内的分布特征。

## 二、微塑料对水产生物的毒性效应及风险评估

### (一) 毒性效应

#### 1. 微塑料自身对水产品毒性

由于微塑料的直径小、不易分解、分布广等特点,导致微塑料在渔业生物产品中很容易累积富集,对其造成危害,从而产生严重的毒性效应,主要包括抑制生长发育、影响摄食和行为能力、降低繁殖能力等。微塑料会抑制渔业生物的生长发育。例如,聚乙烯微塑料会抑制海胆的摄食与生长。摄入微塑料会影响渔业生物的摄食率和行为能力。微塑料会危害渔业生物的生殖健康,微塑料通过改变生物代谢活性、诱导氧化应激等方式,对生物内分泌系统、生殖系统产生不利影响。聚苯乙烯微塑料会使太平洋牡蛎排出的卵细胞数量下降,精子活力和移动速度下降,从而影响其繁殖能力。

#### 2. 微塑料对水产品的复合毒性

除了微塑料自身毒性对水产品的影响之外,微塑料和水产养殖中其他环境污染物会发生复合毒性。由于微塑料的比表面积大,表面疏水性强,容易吸附并集中在重金属、有机污染物等其他环境污染物上。

下面将会按照以下两个方向来为大家介绍微塑料对水产品的毒性复合:

#### (1) 有机污染物——多环芳烃 (PAHs)

多环芳烃可以通过石油泄漏进入海洋,注水和大气沉降的方式,最终进入水产养殖区,对水产养殖环境造成污染。由于多环芳烃具有很强的亲脂性和抗生物降解性,微塑料的比表面积较大,与多环芳烃相结合会更容易。

微塑料作为有机污染物的载体,可增强其生物蓄积性和毒性。以茈、菲为例,在红罗非鱼、贻贝、麦格纳和斑马鱼中,与不使用微塑料相比,在处理中茈、菲的积累增强。研究发现微塑料与多环芳烃的复合污染会增加鱼类种群的死亡风险。微塑料与多环芳烃复合暴露会增强多环芳烃在紫贻贝体内的生物效应,包括免疫反应、氧化应激反应、神经毒性效应、基因毒性等。

#### (2) 无机污染物——重金属

微塑料除了会吸附一些有机污染物外,还会吸附无机污染物——重金属如铅、锌、铜、铬、镉等。微塑料对重金属的吸附强度取决于微塑料的电负性和化学结构。其吸附机理主要为表面络合、颗粒内扩散、静电作用和弱碱物理吸附。根据吸附机理以及相关研究可以得出微塑料不仅可能改变其生物积累和毒性,还会增强重金属的生物积累和毒性。聚乙烯微塑料颗粒和 Cr(VI) 单一胁迫未发现机体产生脂质过氧化,但是二者复合作用下机体的脂质过氧化水平显著升高;

#### 3. 风险评估

水厂养殖设施所释放的大量微塑料不仅会提高养殖海产品摄入微塑料的风险,还影响海产品体内微塑料的类型和特征。体内微塑料含量的升高必然会增加海产品出现不良反应的概率,最终影响近海养殖区的生态健康。初步证实,水产品摄食微塑料后会导致生物体出现生长发育异常、生殖系统障碍及神经功能损伤等毒性作用。

微塑料可从海洋环境中吸附不同数量及种类的其他有毒有害物质,成为污染物的载体。水产区生物摄食微塑料的同时会伴随摄入上述污染物进入体内,进而产生一系列不良反应,严重时甚

至会造成生物体死亡。与食用鱼类不同,人类食用贝类时通常不会去除内脏,这种饮食习惯会大大增加人类对微塑料的摄入量。最终水产养殖过程中的微塑料对水产养殖食品安全构成潜在威胁,进而对人类健康存在潜在威胁。

微塑料中的单体和添加剂的泄露以及微生物的吸收会对水产生物造成严重的健康风险。研究表明,微塑料可能会导致水产生物的运动行为产生异常,影响水产生物体的繁殖能力,抑制其生长发育,进而影响水产品的质量。微塑料可以改变鱼类的代谢状态,促进 ROS 的产生,ROS 的大量产生还会对鱼类的胆固醇水平与脂质代谢相关的酶活性产生不良影响,对鱼类的免疫系统也有毒害作用。

## 三、总结与展望

在水产养殖业中所用到的塑料制品极多,以至于无论是养殖水还是养殖过程中都会存在微塑料。水产养殖环境中的微塑料主要来自外源性输入,以 PP、PS、PE 这三种微塑料为主。当微塑料进入养殖环境中,养殖水产品会很容易将其吸入体内,集中分布在胃肠道、鳃以及肝脏中,对水产品产生以微塑料自身毒性引发的不良影响,主要包括抑制生长发育、影响摄食和行为能力、降低繁殖能力等。随着时间的推移,水产养殖中的其他污染物会与微塑料产生联合作用,其复合毒性要比单一微塑料毒性更甚,增加水产品死亡风险。微塑料在水产品的出现不仅会引发水产品的死亡、降低水产养殖的经济效益,还会使水产养殖食品安全构成潜在威胁,进而对水产养殖业和人类健康存在潜在威胁。

本综述所展示的内容是希望能引起一些水产养殖业及相关公司或研发团队引起重视,并且希望能通过物理、化学、生物等技术手段减少水产养殖过程及水产品中的微塑料,减轻水产养殖中微塑料对水产品毒害作用的风险,进而保护人类健康。

### 参考文献:

- [1] 张艳, 张凡. 水产养殖系统中的微塑料及其潜在影响 [J]. 资源节约与环保, 2021 (07): 32-33.
  - [2] 林琳, 钟仕花, 陈纯, 王璞, 钱伟, 曾佳敏, 朱小山, 徐向荣. 近海海域养殖源微塑料的环境赋存丰度、生物积累与生态风险 [J]. 科学通报, 2022, 67 (23): 2762-2781.
  - [3] 张峰. 舟山渔场及邻近海域塑料与微塑料污染特征及风险评估研究 [D]. 华东师范大学, 2022.
  - [4] 陆化杰, 刘凯, 陈子越, 宁欣, 王洪浩, 何静茹, 陈炫好. 南海西沙群岛海域鳶乌贼 *Sthenoteuthis oualaniensis* 胃组织微塑料沉积特性研究 [J]. 海洋与湖沼, 2022, 53 (01): 187-194.
  - [5] 夏斌, 杜雨珊, 赵信国, 朱琳, 陈碧鹃, 孙雪梅, 曲克明. 微塑料在海洋渔业水域中的污染现状及其生物效应研究进展 [J]. 渔业科学进展, 2019, 40 (03): 178-190.
  - [6] 汪新. 微塑料对海洋环境和渔业生产的影响研究现状及防控措施 [J]. 渔业研究, 2021, 43 (01): 89-97.
  - [7] 于靖. 多环芳烃在长江下游典型湖泊浮游生物网中富集的周年变化及其影响因素研究 [D]. 兰州大学, 2017.
- 作者简介: 张月冉 (2002), 女, 北京海淀区人, 本科生, 主要研究方向为水产养殖过程新污染物风险评估与去除。

基金项目: 北京市大学生科学研究与创业行动计划项目 (B027)