

doi: 10.7541/2022.2021.0191

典型河蟹养殖池塘不同养殖阶段水体微塑料特征

谢莘昊¹ 熊雄² 胡红娟² 吴辰熙²

(1. 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430070; 2. 中国科学院水生生物研究所淡水生态和生物技术国家重点实验室, 武汉 430072)

摘要: 研究对典型河蟹养殖池塘水体在不同养殖阶段的微塑料丰度和赋存特征进行了研究。河蟹养殖池塘中微塑料丰度处于200—1640个/m³的水平, 在全国与世界范围内处于中等水平。养殖前中期微塑料丰度较低, 而养殖末期微塑料丰度较高。河蟹养殖周期中的引水和排水过程、养殖过程中塑料制品的使用和老化及养殖过程中水环境的变化都可能对河蟹养殖池塘的微塑料丰度变化产生影响。而养殖过程不仅影响了微塑料丰度, 还影响了河蟹养殖池塘的微塑料特征, 微塑料的形状、粒径、颜色及聚合物类型都在不同养殖期发生变化。研究进一步揭示了水样养殖过程中微塑料生成和变化的过程和机制。养殖末期较高的微塑料丰度表明可能需要关注养殖尾水排放对天然水体微塑料赋存的影响。

关键词: 微塑料; 丰度; 池塘水体; 河蟹养殖

中图分类号: Q178.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2022)09-1325-07



塑料是人类发明的重要合成材料。其具有耐久长、重量轻、成本低等优点。广泛应用于工、农业和居民日常生活。自20世纪40年代以来, 全球塑料的生产量迅速增加, 2019年全球塑料生产量达到3.68亿吨^[1]。大多数塑料在自然环境中难以降解, 因此塑料生产和使用的增加也带来了塑料污染的问题。据统计, 2015年全球塑料废弃物产量约为63亿吨, 若不采取有效措施, 预计到2050年, 全球塑料废弃物产量将达到120亿吨^[2]。微塑料(Microplastics)被定义为粒径小于5 mm的塑料碎片^[3]。大量研究表明微塑料在自然界各类水体(包括海洋、河流及湖泊等)中十分常见^[4, 5], 甚至在远离人类活动的南北极附近洋面以及深海沉积物中都发现微塑料的存在^[6, 7]。微塑料具有较小的体积, 使其容易被各类水生生物误食^[8], 而其较大的比表面积和较强的疏水性也能够使其对各类有机污染物都具有较强的吸附性^[9]。上述特性使得微塑料可能对各类水生生物产生危害。因此, 微塑料污染问题近年来受到了越来越多的关注。

我国拥有世界上规模最大的水产养殖业, 其中

淡水池塘养殖是我国水产养殖的重要组成部分。我国淡水养殖池塘面积约25700 km²^[10], 与我国自然湖泊相比, 面积达湖泊的70%左右^[11]。这些面积广大的淡水养殖池塘不仅提供了丰富的水产品, 也被认为是许多养殖相关污染物的重要来源, 带来包括水体富营养化、水体缺氧、水质恶化等环境问题^[12]。目前已经有较多的研究关注养殖池塘的氮磷营养、重金属、抗生素等污染^[13-15], 但有关养殖池塘的微塑料污染研究仍十分有限。渔业和水产养殖活动需要用到大量的塑料制品, 包括网具、绳子、围栏、船、防渗膜、饲料包装及水产品运输材料等^[16, 17]。这些水产行业中使用的塑料制品很可能是水体中微塑料污染的重要来源。针对海岸带养殖区的研究表明, 我国多个海水养殖区都存在较高的水体微塑料浓度^[18, 19]。而养殖池塘也被一些研究证明存在较高的微塑料丰度, 并可能成为周边天然水体微塑料的来源^[20]。还有研究表明水产养殖生物如鱼、河蟹和贝壳类也会一定量的摄入微塑料, 可能给水产品带来一定安全隐患^[21]。因此, 对养殖池塘微塑料赋存现状的研究具有十分重要

收稿日期: 2021-08-13; **修订日期:** 2022-05-06

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0900701); 中国科学院先导项目(XDA23040401); 国家自然科学基金面上项目(41877394) 资助 [Supported by the National Key Research and Development Program of China (2018YFD0900701); the Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (XDA23040401); the National Natural Science Foundation of China (41877394)]

作者简介: 谢莘昊(2000—), 男, 研究方向为环境科学; E-mail: 2018302050104@whu.edu.cn

通信作者: 熊雄, E-mail: xxiong@ihb.ac.cn

的意义。

池塘养殖是一个包含了引水、换水和排水过程的周期性活动。虽然目前对池塘养殖微塑料赋存特征已有一些报道,但对于养殖池塘微塑料赋存在整个养殖周期中的变化过程,还缺乏足够的认识。不同类型的养殖池塘的微塑料赋存有一定差异,Xiong等^[20]研究发现河蟹养殖池塘中的微塑料丰度显著高于鱼塘和周边天然湖泊。考虑到河蟹的养殖周期通常在1年以内,因此河蟹养殖池塘可以成为研究养殖周期内养殖池塘微塑料时间变化的合适场所。本研究以国内典型河蟹养殖池塘为研究对象,调查了不同养殖期河蟹养殖池塘微塑料赋存特征,以揭示河蟹养殖池塘中微塑料在整个河蟹养殖周期中的变化过程。

1 材料与方法

1.1 调查区域与样点设置

本研究在湖北省洪湖市典型池塘养殖区选择了5个养殖池塘作为研究区。每个池塘作为1个样点,于2020年5月、2020年7月和2020年10月进行3次采样调查,分别代表了河蟹池塘养殖的初期、中期和收获期。

1.2 野外采样

受养殖池塘水面面积、水深及水体浊度的限制,本研究采用水桶采集和筛网过滤的方法进行水中微塑料样品的采集。在每次调查中,使用预先洗净的10 L不锈钢水桶在每个采样点采集25 L表层水样,将水样通过预先洗净的500目不锈钢筛网过滤,再将筛网上的残留物用纯净水冲洗转移到预先洗净的100 mL广口玻璃样品瓶中。样品采集后低温避光保存,并及时带回实验室进行后续分析。

1.3 样品处理

将带回实验室的样品放入烘箱中,60℃烘至近干。向干燥后的样品中加入至少20 mL且3倍于样品体积的分析纯过氧化氢(30%浓度),在烘箱内60℃下消解72h。消解完成后的样品继续在烘箱中以60℃干燥。向干燥后的消解样中加入适量经过1.2 μm玻璃纤维滤膜过滤后的饱和氯化钠溶液(密度1.2 g/cm³),振荡混合混匀后将其全部转移到分液漏斗中,静置过夜后弃去底层的残渣和液体,将上层的残留物过滤到带网格的滤膜上(1.2 μm孔径)。将滤膜转移到培养皿中,阴干后进行后续分析鉴定。

1.4 样品分析

阴干后的滤膜在体视显微镜(Nikon, 东京, 日本)下进行观察,记录疑似微塑料颗粒的数量、形态、颜色和大小等数据。在镜检完成后,使用拉曼

光谱仪(Renishaw inVia Raman microscope, Wotton-under-Edge, Gloucestershire, 英国)进行聚合物类型鉴定。拉曼光谱选择785 nm波长激光作为激发光源,光谱范围选在300—3200 /cm波数内。使用内置谱库和自制的标准物质谱图同时对样品的拉曼光谱进行比对以确定待测颗粒的聚合物类型。

1.5 质量管理和质量控制

为了防止采样和实验过程中的污染,整个过程尽量避免塑料制品的使用,所有实验器具都事先用纯水清洗干净,并在使用前用铝箔包裹。采样与实验过程中均穿着棉质服装,佩戴手套。桌面及手部都预先用粘棒处理以去除表面的纤维。所有溶液及水都经过GF/C过滤膜(1.2 μm孔径)过滤。采样与实验全程设置空白对照。

2 结果

2.1 洪湖河蟹池不同月份微塑料丰度

在本研究中,河蟹养殖池塘微塑料丰度200—1640个/m³。其中5月丰度是200—880个/m³(平均532个/m³),7月丰度是280—880个/m³(平均528个/m³),10月丰度是280—1640个/m³(平均976个/m³;图1)。虽然单因素方差分析的结果显示,3次采样河蟹养殖塘的微塑料丰度没有显著性差异($P=0.175$),但从平均值和最大值看,10月与5月和7月相比已有较为明显的增加。

2.2 洪湖河蟹池不同月份微塑料特征

本研究中将微塑料分为碎片、碎块和纤维等形状。河蟹养殖池塘中微塑料各种形状在不同月份呈现出不同的特征(图2),总体来说纤维型微塑料占比最高,7月采集样品中纤维型微塑料占比达到71.2%,10月纤维型微塑料占比为59.8%,5月纤维型微塑料占比最低,为35.2%。其次为碎片型微塑

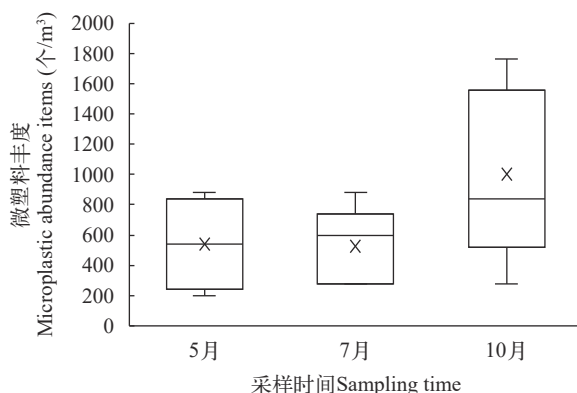


图1 不同月份河蟹养殖池塘微塑料丰度

Fig. 1 Abundances of microplastics of crab ponds in different months

料, 其中5月采集样品中碎片型微塑料占比最高达到38.9%, 10月碎片型微塑料占比为35.2%, 7月碎片型微塑料占比最低, 为18.18%。碎块型微塑料占比最低, 其中5月采集样品中碎块型微塑料占比最高, 达25.9%, 7月碎块型微塑料占比为10.6%, 10月碎块型微塑料占比最低, 仅为4.8%。此外对比不同池塘间各形状微塑料占比的变异系数, 在5月, 3种形状的微塑料变异系数均较高, 7月和10月, 纤维型微塑料占比的变异系数明显降低, 而碎片和碎块型微塑料占比的变异系数仍处于较高水平。

本研究将微塑料样品分为 $<0.5\text{ mm}$ 与 $>0.5\text{ mm}$ 两个粒径水平, 总体上这两种粒径的微塑料占比接近, 其中5、7和8月 $>0.5\text{ mm}$ 的微塑料占比分别为48.1%、54.6%和50.8%(图3)。此外, 本研究发现10月部分河蟹养殖池塘水体中存在极少量 $>5\text{ mm}$ 的大塑料碎片, 其丰度仅为8个/ m^3 , 占比不到1%。

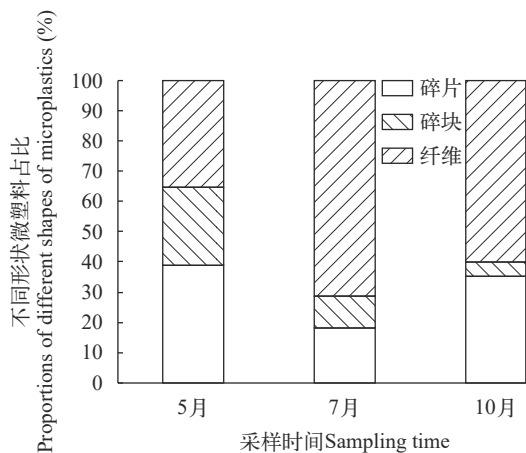


图2 不同月份河蟹养殖池微塑料形状组成

Fig. 2 The shape composition of microplastics of crab ponds in different months

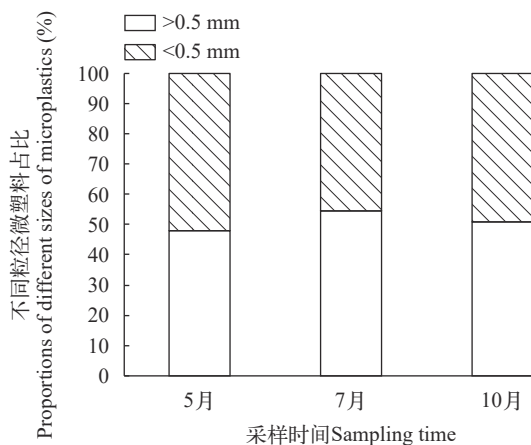


图3 不同月份河蟹养殖池微塑料粒径分布

Fig. 3 The size composition of microplastics of crab ponds in different months

此外对比不同池塘间大粒径微塑料占比的变异系数, 10月的结果明显小于5月和7月。

河蟹养殖池塘中微塑料以白色、透明、黑色和蓝色为主, 其中5月白色微塑料占比最高, 黑色和蓝色次之, 透明略低于蓝色, 而在7月, 透明和黑色微塑料的比例明显上升, 与白色微塑料占比接近, 到了10月, 透明微塑料占比明显高于其他颜色, 而黑色和蓝色微塑料的占比明显下降(图4)。值得注意的是, 彩色微塑料(蓝、黄、红和绿等颜色微塑料)的占比在3个采样时间点随时间变化降低较为明显, 在10月, 彩色微塑料的占比极低。

本研究在河蟹养殖池塘总共检出聚丙烯(PP)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)、聚乙烯(PE)、聚氯

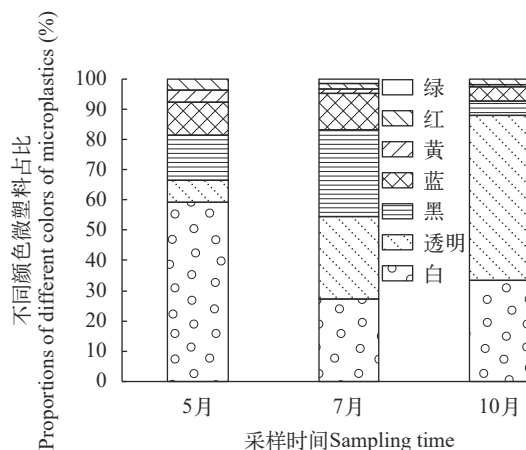


图4 不同月份河蟹养殖池微塑料颜色

Fig. 4 The color of microplastics of crab ponds in different months

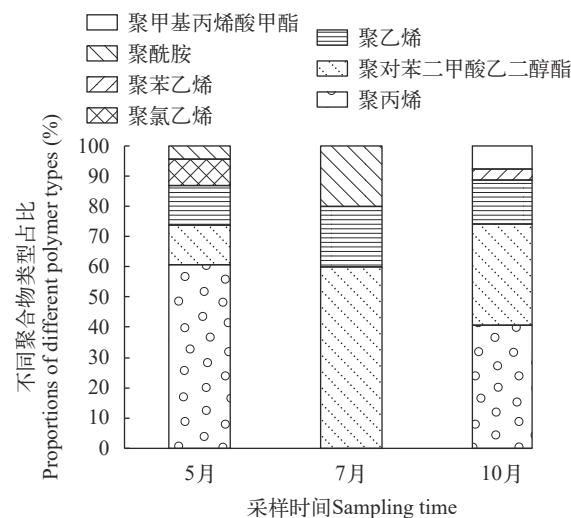


图5 不同月份河蟹养殖池微塑料聚合物类型

Fig. 5 The polymer types of microplastics of crab ponds in different months

乙烯(PVC)、聚苯乙烯(PS)、聚酰胺(尼龙, PA)和聚甲基丙烯酸甲酯(亚克力, PMMA)等7种不同类型的聚合物(图 5)。其中5月占优势的主要是PP, 7月占优势的主要是PET, 10月PP和PET占据优势, 且比例接近。相比7月、5月和10月鉴定出的聚合物类型较为多样。

3 讨论

3.1 河蟹养殖池中微塑料丰度水平、季节变化和原因分析

本研究结果中河蟹养殖池塘中的微塑料丰度与Xiong等^[20]研究中洪湖水产养殖区的池塘微塑料丰度接近, 远高于Bordos等^[22]在中欧地区鱼塘的研究结果, 但是低于Li等^[23]在江汉平原河口龙虾池的研究结果(6.6×10^3 — 263.6×10^3 个/ m^3)和Ma等^[24]在珠江河口鱼池的研究结果(10.3×10^3 — 87.5×10^3 个/ m^3)。与其他天然水体相比, 本研究中河蟹养殖池塘在采用类似方法的研究中基本处于中等偏低水平, 低于国内洞庭湖、鄱阳湖和太湖等水体的水平^[20]。不同的采样方法使得不同研究中微塑料的丰度对比存在一定难度。Dris等^[25]的研究表明, 孔径越小的采样工具, 获得的微塑料丰度也较高。此外, 采样体积也可能会影响调查结果^[26]。但与采用相似采样方法的研究相比, 本研究的结果还是表明淡水养殖池塘的微塑料丰度水平总体处于较低水平。

Xiong等^[20]之前的研究认为, 淡水养殖池塘较低的微塑料丰度可能和池塘养殖的换水过程有关。一般养殖池塘会在养殖前期从天然水体引水, 并在一个养殖季结束后排空池塘中的尾水。排水过程会将池塘中积累的微塑料排出, 从而导致养殖池塘微塑料积累水平较低。而这一过程也意味着研究一个养殖周期内池塘内微塑料的丰度变化对评估养殖池塘微塑料的风险有着重要的意义。本研究的结果表明, 河蟹养殖池塘中的微塑料丰度呈现出养殖前中期较低, 养殖末期升高的趋势。之前的研究认为, 河蟹养殖塘周边的围栏及河蟹养殖过程中使用的其他塑料制品可能是河蟹塘微塑料的重要来源^[20], 而这些塑料制品分解为微塑料都需要一定的时间, 这可能是造成后期微塑料丰度较高的原因之一。另一方面, 河蟹池塘小流域内微塑料的积累本身也是一个随着时间逐渐增加的过程。虽然一个养殖周期较短的暴露时间和养殖池塘较小的流域范围都可能影响了养殖池塘中微塑料的生成和积累, 从而使得养殖末期的河蟹池塘微塑料丰度并没有显著高于养殖前中期, 但接近两倍水平的平均丰度和最高丰度值仍说明河蟹养殖塘中存在

着微塑料丰度随养殖时间积累的过程。

养殖前期和中期, 河蟹养殖水体中微塑料丰度较低的原因可能并不相同。养殖初期较低的微塑料丰度可能是由于洪湖区域内本身较低的天然水微塑料丰度导致的。Xiong等^[20]发现, 在秋季, 洪湖天然湖泊的水体微塑料丰度要显著低于河蟹养殖池塘。虽然5月份, 河蟹养殖已经开始了一段时间, 但在冬春季节紫外线辐射总量较少, 并且此时河蟹的生物量较低, 区域内降水水平也较低, 上述条件都不利于微塑料在养殖池塘中的积累。而在6—7月, 河蟹的脱壳过程使得当水温升高时需要增加水深以在池底部形成低温层, 同时可能还需要大量换水^[27], 这一过程一方面会引入微塑料含量较低的天然水, 另一方面也会将池塘内已经生成的微塑料排出。此外, 水体中的微塑料可能会由于共沉淀或生物作用进入沉积物中^[28]。Chen等^[29]的研究表明生物膜的生长和悬浮颗粒物的浓度都会影响微塑料向沉积物沉降的过程。在夏季较高的温度下, 水生生物膜生长一般较为旺盛, 同时天然水中的悬浮物可能也较高, 这有利于微塑料从水体进入沉积物。还有一些研究还表明, 水草也可能通过缠绕捕获水中的微塑料。河蟹池在夏季会大量种植轮叶黑藻与伊乐藻作为河蟹的食物^[30], 水草的存在可能会捕集表层水中新生成的微塑料。

微塑料是完全的人类活动来源。在河蟹养殖的过程中, 为防止河蟹逃逸会使用大量的围网设施, 这些设施中就含有塑料薄膜和聚乙烯绳等^[30]。这些大塑料经过紫外线的照射和机械磨损的作用分解为各种微塑料^[31]。另外, 在水草栽培、蟹苗投放、饲养管理及最后的收获这些过程中使用的塑料制品都可能给河蟹池带来一定量的微塑料污染, 比如饲料的包装袋, 饲料碎鱼中本身含有的微塑料和捕捞使用的地笼等。除了养殖过程中的塑料制品, 在捕捞结束后, 很大一部分养殖沉淀底泥会被清理堆积在池边, 而这些淤泥中残留的微塑料很可能通过冲刷的过程再次进入养殖池水体。养殖末期较高的微塑料丰度可能是由于随着时间的推移, 河蟹养殖池塘周边的塑料制品老化程度增加, 塑料制品遭受的机械磨损也日益增多, 河蟹养殖池塘流域内微塑料不断积累并进入池塘。此外, 在河蟹收获期, 捕捞活动使用的网具、浮体、船只等塑料制品也可能会带来微塑料的输入。因此河蟹养殖池塘在10月总体上呈现出较高的水体微塑料丰度。

3.2 河蟹养殖池中微塑料特征季节变化和原因分析

除了微塑料丰度外, 河蟹养殖池塘的微塑料赋存特征也随着养殖过程出现不同的变化。纤维型

微塑料在养殖初期占比较低, 在中后期占比较高。纤维是目前天然环境中最常见的微塑料形状^[32]。在之前不少研究中, 纤维型微塑料的占比都超过50%, 甚至可以达到90%以上^[33-35]。对于养殖水体, 纤维型微塑料主要来自于塑料渔具、网具的使用及养殖池塘小流域内人类活动来带的纺织品来源的纤维输入^[36, 37]。前期相对较低的纤维型微塑料占比可能反映了区域内天然水体的情况, 而随着养殖活动的进行, 渔具、网具和养殖户的纺织品等塑料制品输入纤维型微塑料可能是河蟹养殖池塘微塑料的主要来源, 这也造成了养殖中后期纤维型微塑料占比的上升。虽然在养殖末期纤维型微塑料的占比略有下降, 但考虑微塑料丰度的上升, 其绝对数值仍保持上升, 占比下降可能是由于其他老化和磨损产生的塑料碎片有所增加。

本研究以0.5 mm为界将微塑料分成两个粒径范围。虽然调查结果显示两个粒径范围的微塑料占比接近, 但从不同养殖阶段池塘间的变异系数看, 养殖中前期, 河蟹养殖池塘的微塑料粒径占比的变异系数较大, 后期变异系数小。这表明, 在养殖前中期, 天然水体的复杂性使得不同池塘间的微塑料赋存特征可能存在较大差异。养殖过程可能对微塑料的粒径组成起到了均匀化的作用, 在养殖末期, 整个养殖周期中微塑料的输入使得不同养殖池塘间的微塑料粒径组成更为接近。

作为人工合成材料, 塑料制品颜色丰富。本研究也发现了多种颜色的微塑料。在整个养殖过程中, 透明微塑料的占比持续增加, 采集到的微塑料颜色也从养殖初期的7种下降到末期的5种, 彩色微塑料的占比明显下降。天然水体由于其微塑料来源复杂, 往往含有颜色较为多样的微塑料, 这可能是养殖初期彩色微塑料较多且占比略高的原因。而本研究的结果也表明, 河蟹养殖池塘小流域内的微塑料可能主要以透明微塑料为主。在实践中, 无论是纺织品带来的纤维型微塑料还是河蟹养殖池塘围栏使用的塑料围挡, 主要都是以透明微塑料为主。

河蟹养殖池塘中发现的聚合物类型和之前天然水体及养殖水体中发现的主要聚合物类型类似^[20]。PP和PE是目前使用范围最广的塑料材料, 在全球水体中均有发现, 而PET作为人工合成纺织品最常用的纤维材料, 也是纤维型微塑料中最常见的聚合物类型^[38]。相对于5月和7月, 10月养殖末期鉴定出的聚合物种类更为丰富, 且占比也更为均匀, 这表明养殖过程中不同类型的塑料都有可能随着包装、围栏和网具等的使用进入养殖水体。

4 结论

研究表明, 河蟹养殖池塘微塑料在不同养殖阶段存在差异。养殖前中期微塑料丰度较低, 而养殖末期微塑料丰度较高。整个河蟹养殖周期中的引水和排水过程、养殖过程中塑料制品的使用和老化及养殖过程中水环境的变化都可能对河蟹养殖池塘的微塑料丰度变化产生影响。而养殖过程不仅影响了微塑料丰度, 还影响了河蟹养殖池塘的微塑料特征。养殖末期较高的水体微塑料丰度可能会随着尾水排放进入天然水体, 这需要在后续研究中进一步关注, 同时, 不同养殖期微塑料特征对养殖生物摄食微塑料和生态风险的影响也需要在后续研究中进一步探索。

参考文献:

- [1] Plastics-the Facts 2020[EB/OL]. https://www.plasticseurope.org/download_file/force/4829/181.
- [2] Geyer R, Jambeck J R, Law K L. Production, use, and fate of all plastics ever made [J]. *Science Advances*, 2017, **3**(7): e1700782.
- [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] Eriksen M, Mason S, Wilson S, *et al.* Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2013, **77**(1/2): 177-182.
- [5] Xiong X, Wu C, Elser J J, *et al.* Occurrence and fate of microplastic debris in middle and lower reaches of the Yangtze River - From inland to the sea [J]. *Science of the Total Environment*, 2019(659): 66-73.
- [6] Cózar A, Martí E, Duarte C M, *et al.* The arctic ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the thermohaline circulation [J]. *Science Advances*, 2017, **3**(4): e1600582.
- [7] Waller C L, Griffiths H J, Waluda C M, *et al.* Microplastics in the Antarctic marine system: an emerging area of research [J]. *Science of the Total Environment*, 2017(598): 220-227.
- [8] Au S Y, Bruce T F, Bridges W C, *et al.* Responses of *Hyalomma azteca* to acute and chronic microplastic exposures [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2015, **34**(11): 2564-2572.
- [9] Zhang H, Wang J, Zhou B, *et al.* Enhanced adsorption of oxytetracycline to weathered microplastic polystyrene: Kinetics, isotherms and influencing factors [J]. *Environmental Pollution*, 2018(243): 1550-1557.
- [10] Yang P, Zhang Y, Yang H, *et al.* Ebullition was a major pathway of methane emissions from the aquaculture ponds in southeast China [J]. *Water Research*, 2020(184): 116176.

- [11] Yang G S, Ma R H, Zhang L, *et al.* Lake status, major problems and protection strategy in China [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2010, **22**(6): 799-810. [杨桂山, 马荣华, 张路, 等. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略 [J]. 湖泊科学, 2010, **22**(6): 799-810.]
- [12] Cao L, Wang W, Yang Y, *et al.* Environmental impact of aquaculture and countermeasures to aquaculture pollution in China [J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2007, **14**(7): 452-462.
- [13] Bian W, Wang L, Zhang H, *et al.* Study on phosphorus pollution load of aquaculture in Baiyangdian Lake [J]. *Advanced Materials Research*, 2012 (**518-523**): 1406-1411.
- [14] Chen J, Sun R, Pan C, *et al.* Antibiotics and food safety in aquaculture [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, **68**(43): 11908-11919.
- [15] Nemati K, Bakar N K A, Abas M R. Investigation of heavy metals mobility in shrimp aquaculture sludge—Comparison of two sequential extraction procedures [J]. *Microchemical Journal*, 2009, **91**(2): 227-231.
- [16] Gündoğdu S, Eroldoğan O T, Evliyaoğlu E, *et al.* Fish out, plastic in: global pattern of plastics in commercial fishmeal [J]. *Aquaculture*, 2021(534): 736316.
- [17] Lusher A L, Welden N A C. Microplastic Impacts in Fisheries and Aquaculture [M]. Handbook of Microplastics in the Environment. Cham: Springer International Publishing, 2020: 1-28.
- [18] Chen M, Jin M, Tao P, *et al.* Assessment of microplastics derived from mariculture in Xiangshan Bay, China [J]. *Environmental Pollution*, 2018(242): 1146-1156.
- [19] Chen B, Fan Y, Huang W, *et al.* Observation of microplastics in mariculture water of Longjiao Bay, southeast China: influence by human activities [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2020(160): 111655.
- [20] Xiong X, Liu Q, Chen X, *et al.* Occurrence of microplastic in the water of different types of aquaculture ponds in an important lakeside freshwater aquaculture area of China [J]. *Chemosphere*, 2021(282): 131126.
- [21] Walkinshaw C, Lindeque P K, Thompson R, *et al.* Microplastics and seafood: lower trophic organisms at highest risk of contamination [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020(190): 110066.
- [22] Bordós G, Urbányi B, Micsinai A, *et al.* Identification of microplastics in fish ponds and natural freshwater environments of the Carpathian Basin, Europe [J]. *Chemosphere*, 2019(216): 110-116.
- [23] Li Y, Chen G, Xu K, *et al.* Microplastics environmental effect and risk assessment on the aquaculture systems from South China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, **18**(4): 1869.
- [24] Ma J, Niu X, Zhang D, *et al.* High levels of microplastic pollution in aquaculture water of fish ponds in the Pearl River Estuary of Guangzhou, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2020(744): 140679.
- [25] Dris R, Gasperi J, Rocher V, *et al.* Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris [J]. *Environmental Chemistry*, 2015, **12**(5): 592.
- [26] Tamminga M, Stoewer S C, Fischer E K. On the representativeness of pump water samples versus *Manta* sampling in microplastic analysis [J]. *Environmental Pollution*, 2019(254): 112970.
- [27] Dai J, Li C L, Deng C Z, *et al.* Investigation of nitrogen and phosphorus pollution and their pollution loads of pond crab farming in Honghu valley [J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, **33**(5): 169-172. [戴捷, 李传岭, 邓楚洲, 等. 洪湖流域半封闭池塘河蟹养殖氮磷污染负荷研究 [J]. 环境科学与技术, 2010, **33**(5): 169-172.]
- [28] Porter A, Lyons B P, Galloway T S, *et al.* Role of marine snows in microplastic fate and bioavailability [J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, **52**(12): 7111-7119.
- [29] Chen X, Xiong X, Jiang X, *et al.* Sinking of floating plastic debris caused by biofilm development in a freshwater lake [J]. *Chemosphere*, 2019(222): 856-864.
- [30] Zhao H Y, Yan C S. Crayfish and river crab pond mix-culture technology [J]. *China Fisheries*, 2009(7): 40-42. [赵恒彦, 颜昌胜. 小龙虾与河蟹池塘混养技术 [J]. 中国水产, 2009(7): 40-42.]
- [31] Horton A A, Walton A, Spurgeon D J, *et al.* Microplastics in freshwater and terrestrial environments: evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities [J]. *Science of the Total Environment*, 2017(586): 127-141.
- [32] Zhang K, Shi H, Peng J, *et al.* Microplastic pollution in China's inland water systems: a review of findings, methods, characteristics, effects, and management [J]. *Science of the Total Environment*, 2018(630): 1641-1653.
- [33] Wu N, Zhang Y, Zhang X, *et al.* Occurrence and distribution of microplastics in the surface water and sediment of two typical estuaries in Bohai Bay, China [J]. *Environmental Science Processes & Impacts*, 2019, **21**(7): 1143-1152.
- [34] Teng J, Zhao J, Zhang C, *et al.* A systems analysis of microplastic pollution in Laizhou Bay, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2020(745): 140815.
- [35] Zhao S, Zhu L, Li D. Microplastic in three urban estuaries, China [J]. *Environmental Pollution*, 2015(206): 597-604.
- [36] Hernandez E, Nowack B, Mitrano D M. Polyester textiles as a source of microplastics from households: a mechanistic study to understand microfiber release during washing [J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, **51**(12): 7036-7046.
- [37] Wang Q, Liu J, Zhang S, *et al.* Sustainable farming practices of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)

around Hongze Lake, Lower Yangtze River Basin, China
[J]. *Ambio*, 2016, 45(3): 361-373.

[38] Gago J, Carretero O, Filgueiras A V, *et al.* Synthetic mi-

crofibers in the marine environment: a review on their occurrence in seawater and sediments [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2018(127): 365-376.

CHARACTERISTICS OF MICROPLASTICS IN DIFFERENT CULTURE STAGES OF TYPICAL CRAB PONDS

XIE Shen-Hao¹, XIONG Xiong², HU Hong-Juan² and WU Chen-Xi²

(1. School of Resources and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430070, China; 2. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

Abstract: Microplastics in freshwater has received wide concern recently. Microplastics in natural waters have been the subject of extensive research. However, research on microplastics in the aquaculture water is still limited. China has the largest aquaculture industry in the world. Large area of aquaculture ponds not only provide abundant aquatic products but are also considered to be an important source of pollutants. Ropes, nets, fences, boats, and packaging, among other plastic goods, are widely used in the fishery and aquaculture industries, and they are a potential source of microplastics in the aquaculture environment. Microplastics tend to be mistaken by organisms and possibly cause damage. Research has shown that the abundances of microplastics of several aquaculture areas in China are relatively high. From the previous research, crab ponds tended to have relatively high abundance of microplastics. The goal of this study is to learn about the features of microplastics in crab ponds during various culture periods in order to gain a better understanding of how they vary throughout the culture process. In this study, the abundance and characteristics of microplastics in the water of crab ponds at different culture stages were studied. The samples were collected from 5 crab ponds around Honghu Lake in May, July, and October 2020. Surface water was collected using a stainless-steel bucket and filtered with a 500-mesh stainless steel mesh. The microplastics were filtered on a membrane for analysis. The suspected plastic particles on the membrane were first observed in a stereo microscope to record their number, shape, size and color. Several particles were randomly selected to be tested by a Raman spectrometer to identify their polymer types. The results showed that the abundance of microplastics in crab ponds is at the level of 200—1640 items/m³, which is at a medium level compared with other water bodies. The abundance of microplastics of May, July and October were ranged from 200—880 items/m³ (average 532 items/m³), 280—880 items/m³ (average 528 items/m³), and 280—1640 items/m³ (average 976 items/m³), respectively. No significant difference in the abundance of microplastics in the three samples from different month was shown by the results of the one-way analysis of variance ($P=0.175$), but according to the average and maximum values, the abundance of microplastics was relatively low during the early and middle stage of cultivation but high at the end of cultivation. The water diversion and drainage processes, the use and aging of plastic products, and the changes in the water environment during the culture process of crab might all have impacts on the change in the abundance of microplastics in the crab ponds. The culture process not only affected the abundance of microplastics, but also other features of microplastics in crab ponds. The shape, size, color and polymer type of microplastics all changed in different cultivation periods. The particle size composition of the microplastics with 0.5 mm as the boundary was similar and evenly distributed in different month. The shape of microplastics were classified as fiber, sheep and fragment with fibrous microplastics being most abundant. Fibrous microplastics accounted for a relatively low proportion in the early stage of cultivation, and a relatively high proportion in the middle and end stages. The proportion of transparent microplastics continued to increase while the proportion of colored microplastics dropped significantly during the process of aquaculture. Seven different types of polymers including polypropylene (PP), polyethylene terephthalate (PET), polyethylene (PE), polyvinyl chloride (PVC), polystyrene (PS), polyamide (nylon, PA) and polymethyl methacrylate (acrylic, PMMA) were detected in the samples with PP, PET, and PE being most abundant. The polymer types were more various in the end of cultivation compared with the early and middle stage. The higher abundance of microplastics at the end of aquaculture suggested that attention might need to be paid to the impact of aquaculture tail water discharge on the occurrence of microplastics in natural water bodies. At the same time, the influence of the characteristics of microplastics in different culture periods on the ingestion of microplastics and ecological risks of cultured organisms also needs to be further explored in follow-up studies.

Key words: Microplastics; Abundance; Freshwater in pond; Crab aquaculture