

食品中微塑料污染现状及防治对策

Study on the current situation and prevention countermeasures of microplastics pollution in food

吴冠桦 李春雷 张孟涵

WU Guan-hua LI Chun-lei ZHANG Meng-han

(中国人民公安大学食品药品与环境犯罪研究中心, 北京 100038)

(Research Center for Food, Drug and Environment Safety, People's Public Security

University of China, Beijing 100038, China)

摘要:文章总结了近 10 年来食品中微塑料污染的研究进展,梳理了国内外微塑料污染防治的政策法规,并在此基础上对中国食品中微塑料污染防治提出了对策建议:结合三级预防理论,从源头严防、传播严管、末端严控 3 个环节对中国食品中微塑料污染进行有效防治。

关键词:微塑料;食品安全;现状;防治对策;三级预防

Abstract: In this paper, the research progress of microplastics pollution in food in recent 10 years were summarized. The policies and regulations of microplastics pollution prevention at home and abroad were reviewed, and then suggestions were put forward for the prevention and control of microplastic pollution in Chinese food. It is suggested to combine with the tertiary prevention theory, including three sections of strict prevention at the source, strict control of transmission and strict control at the end.

Keywords: microplastics; food safety; current situation; prevention countermeasures; tertiary prevention

随着塑料制品的急剧增加,预计 2060 年全球的塑料废物将达 2.7 亿 t^[1]。塑料废物在自然界中经风化、光照等过程最终分解为塑料碎片,造成微塑料(Microplastics, MPs)污染。微塑料是指直径为 1 μm ~5 mm、既不溶于水也不可生物降解的合成聚合物,其化学性质极其稳定,半衰期长达数百年之久,可对环境造成持久性污染^[2-3]。

作为一种独立的新型污染物,MPs 不同于普通的固体塑料废物,其体积微小,具有极强迁移性,可随着水循环、大气循环在全球范围内传播,也可以被自然界中的生

物体摄入累积,最终通过食物链进入人类的日常食品中^[4-5]。MPs 可以对生物体诱发细胞毒性和氧化应激反应,造成健康隐患^[6]。近年来,MPs 在牛奶、食盐、海鲜等食品中被检出引起了各国对食品中 MPs 污染的关注^[7-11]。目前,中国对于食品中 MPs 污染的专门防治仍处于空白状态^[12]。为此,文章拟从食品中 MPs 污染的现状入手,梳理国内外防治 MPs 污染的政策法规,并针对食品中 MPs 污染的防治提出对策建议,旨在为中国今后开展食品中微塑料污染防治的相关工作提供依据。

1 食品中微塑料污染现状

1.1 食品中微塑料来源

根据形成过程的不同,可将 MPs 分为初级微塑料和次级微塑料。初级微塑料主要指未经降解过程、大小在 1 μm ~5 mm 的塑料微粒,例如添加在磨砂膏、牙膏中的塑料微珠及轮胎磨损时产生的塑料纤维等。作为农业大国,中国所使用的有机肥料是初级微塑料的重要来源^[13],2018 年中国农业生产中使用的有机肥料达 1.381×10^7 t,其中 MPs 含量达 895 个/kg。污水污泥排放是初级微塑料的另一重要来源,中国每千克干污泥中可检测到 $(22.7 \pm 12.1) \times 10^3$ 个 MPs^[14]。此外,围栏和笼式的海洋养殖活动是造成海洋中 MPs 污染的重要原因^[15-16]。

次级微塑料是指大型塑料废物在自然环境中经过风化、光照、外力作用等二次降解后,质地变脆、体积变小,最终形成尺寸为 1 μm ~5 mm 的塑料微粒。2015 年全球累积生产塑料聚合物达 8.3×10^9 t,其中废弃量约为 6.3×10^9 t,有高达 81% 的塑料废物未得到回收利用^[17]。如图 1 所示,来自生活废水、污水处理厂、农业活动等领域的初级微塑料和大型塑料废物降解产生的次级微塑料共同造成了全球的 MPs 污染,成为食品中 MPs 的主要源头所在。

基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2018YFC1602700)

作者简介:吴冠桦,男,中国人民公安大学在读硕士研究生。

通信作者:李春雷(1970—),男,中国人民公安大学教授,博士生导师,博士。E-mail: ipr426@126.com

收稿日期:2021-06-03

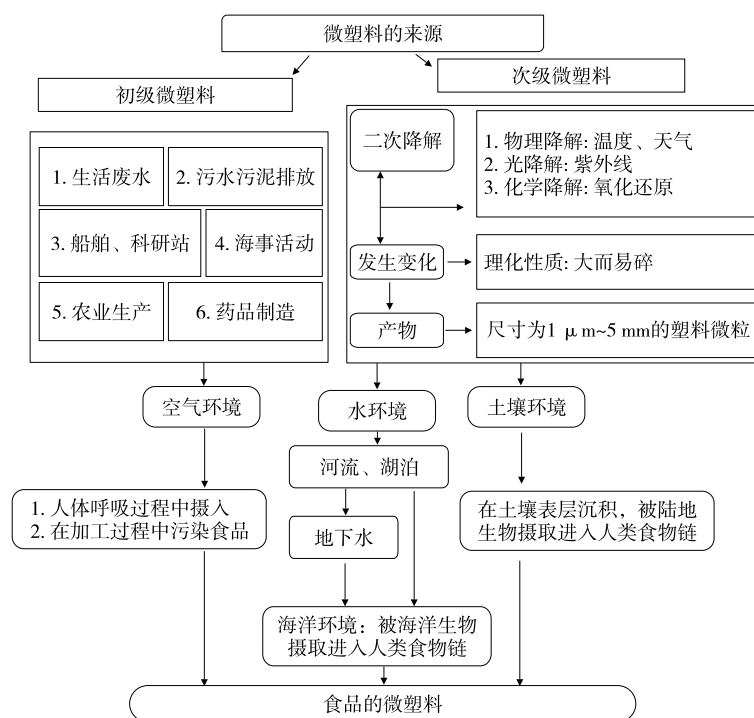


图 1 食品中 MPs 的污染途径

Figure 1 The pollution pathway of MPs in food

1.2 食品中微塑料含量

表 1 总结了各类食品中 MPs 含量及其来源途径。此外,空气、水体、土壤等环境中存在的 MPs 也会导致其他食品在生产加工过程中受到污染^[33]。

查明 MPs 含量及其进入食品的途径对于防治污染具有重要意义,但是不同的抽样方法和统计模型,得到的测量结果不同。由于目前各国缺乏统一的检测方法与评估标准,所以无法对现有的研究结论进行横向比较,也难以进行准确的食物安全风险评价。因此,不同食品介质中 MPs 的采样、分析及鉴定方法仍需进一步探讨和完善。

2 食品中微塑料对人体的危害

目前,人类接触 MPs 的渠道包括 3 种:呼吸摄入、皮肤接触、口腔摄入^[34]。据估计,每人每年通过食物摄入的 MPs 可达 3.9~5.2 万个^[35]。受到尺寸、形态、表面性质等因素的影响,MPs 被摄入生物体后的吸收和转运情况略有不同^[36]。尺寸>150 μm 的 MPs 易在肠道中积累,但无法透过肠道渗入其他器官,可随排泄物排出体外^[37];尺寸<150 μm 的 MPs 可穿过哺乳动物的肠道屏障进入淋巴系统^[38];尺寸更小的 MPs(≤20 μm)可深入细胞组织,造成细胞层面上的毒性效应^[39-40]。此外,MPs 固有的物理性质还可以诱导肠梗阻造成组织擦伤,导致肠道免疫系统紊乱产生局部炎症^[41-42]。

为提升性能,塑料制品在生产过程中被掺入各种有

毒添加剂^[43]。同时,MPs 的疏水性和高表面积使其能够吸附积累持久性污染物,形成毒性集合体,造成“特洛伊木马”效应^[44]。不论是添加在塑料中的化学物质还是吸附在 MPs 表面的持久性污染物,都会随着 MPs 进入人体发生释放,造成二次伤害。根据添加剂和污染物的种类不同,将其健康威胁列于表 2。

总体而言,MPs 对人体健康造成危害的途径可分为两类:① MPs 本身对人体造成的危害;② 通过附着多种毒害物质,产生复合毒性效应危害人体健康。但 MPs 具有惰性,对人体的急性损伤只有在摄入超高剂量时(超载情况)才会发生,所以上述“危害”主要是指持续摄入 MPs 所造成的“长期危害”。目前,难以确定精确的量化标准或明确的剂量—反应关系来表明 MPs 对人体的危害,仍需深入探究和相关的风险评估工作。

3 国内外微塑料防治政策

2016 年,联合国环境大会对全球海洋 MPs 污染情况发布报告,呼吁全球沿海国家开展关于 MPs 的研究工作及法律规制^[52]。自此,“微塑料”进入了各国科研人员的视野,防控污染的相关法规也随之陆续出台。表 3 梳理了国内外 MPs 防治的立法和政策发展情况。

由表 3 可知,中国在 MPs 污染防治方面存在以下不足:

(1) 立法规制缺失,防治效果不佳。相较于美国的《无微珠水法》、英国的《环境保护法》,中国以《产业结构

调整指导目录》(以下简称《指导目录》)等政策文件的形式对 MPs 进行规制,尚未将 MPs 污染的防治提升到立法层面,其仍处于较低位阶,缺乏约束力和强制力^[12]。虽然《指导目录》中已明确规定 MPs 的“禁止生产”“禁止销售”及其具体日期,但配套惩罚机制和监管措施的缺失导致 MPs 防治工作事倍功半。究其根源在于 MPs 的研究热度仅限于学术界,并未被立法者和监管人员所重视。监管部门依旧将 MPs 视为普通的固体塑料污染进行防治,忽略了其不同于普通塑料废物的独立特征。法律规制的空白导致实践中的 MPs 污染防治工作无法可依,无据可循,防治效果不尽人意。

(2) 规制范围狭窄,防治效果有限。目前中国关于 MPs 污染的防治范围仅限于化妆品中添加的初级微塑料,缺乏对次级微塑料污染的防控,而次级微塑料是造成 MPs 污染的主要来源。防控次级微塑料的关键在于减少大型塑料废物的产生。以生活中常见的塑料外包装为例,各国均采取了不同策略。美国对回收塑料包装的企业予以政策上的支持,规定此类企业可以减税;日本则侧重于推广塑料包装的再生利用。针对中国具体情况,建议相关部门对塑料包装使用量最大的寄递行业征收一定数额环境保护税,并将此税收用于塑料废物的回收利用当中。

目前,各国对于 MPs 污染的认识处于不同阶段,立

表 1 食品中 MPs 含量[†]
Table 1 The content of MPs in food

食品类型	采样时间/年	采样地点	MPs 含量	采样数量	MPs 进入食品的途径	参考文献
蜂蜜	2013	德国/法国/意大利/西班牙	平均值(166±147)个/kg	19	蜜蜂采蜜过程	[8]
	2015	德国	纤维 10~336 个/kg 碎片 2~82 个/kg	47	蜜蜂采蜜过程	[18]
	2017	瑞士	有色纤维 32~108 个/kg	5	玻璃材质的容器磨损	[19]
啤酒	2014	德国	纤维 2~79 个/L 碎片 12~109 个/L 颗粒 2~66 个/L	24	啤酒的加工过程	[20]
	2018	美国	0.0~14.3 个/L (平均值 4.05 个/L)	12	啤酒的原材料(水源)	[10]
食盐	2018	西班牙	海盐 50~280 个/kg 岩/井盐 115~185 个/kg	21	盐分本身的水体环境(水源)	[21]
	2019	澳大利亚等 38 个地区	1.98×10 ⁴ 粒/kg	128	盐分本身的水体环境(水源)	[22]
瓶装水	2020	意大利等 28 个国家	印度尼西亚 1.4×10 ⁴ 个/kg 美国 50~800 个/kg 中国 550~680 个/kg	>100	在盐分浓缩、干燥及包装过程中被引入	[23]
阿根廷红虾	2018	中国等 9 个国家	10.4 颗/L(>100 μm) 325 颗/L(6.5~100.0 μm)	259	包装材料(瓶盖等)的磨损和装瓶过程	[24]
	2020	大西洋	(7 050±418)个/g(湿重)	15	虾类对海洋中 MPs 的误食	[25]
贻贝	2018	英国沿海	0.9 个/g	162	贻贝养殖过程(水产养殖的纺织品或绳索)	[26]
牡蛎	2018	韩国沿海	(0.07±0.06)个/g	60	NR	[27]
沙丁鱼罐头	2018	加拿大等 13 个国家	0.25~0.75 个/罐	20	鱼类对海中 MPs 的误食和罐头的加工过程	[28]
鸡肉	2017	墨西哥	(45.82±42.6)个/只	NR	鸡对土壤表面 MPs 的误食	[29]
海苔	2020	中国东部沿海	0.9~3.0 个/g(干重)	24	海洋中的 MPs 附着	[30]
茶包	2019	加拿大	1.16×10 ¹¹ 个/包(95 ℃下冲泡 1 个塑料茶包)	NR	塑料包装材质的磨损	[31]
白葡萄酒	2020	意大利	5.857×10 ⁴ 个/L	26	聚乙烯材质瓶塞的磨损	[32]

[†] NR 为未报道。

表 2 微塑料中不同成分对人体健康的威胁

Table 2 Threat of different components in microplastics to human health

塑料制品	有害物	主要用途	健康威胁	参考文献
聚氯乙烯	双酚 A(添加剂)	矿泉水瓶、婴儿奶嘴等	内分泌干扰物,与肥胖、糖尿病等有关	[45]
脲醛树脂	甲醛(胶黏剂)	木材加工、胶合材料、装修保温层等	致癌物质	[46]
聚苯乙烯	苯乙烯(工业原料)	合成橡胶、树脂材料、模型玩具等	对眼睛、鼻黏膜有刺激性,可引起头晕或昏迷	[47]
聚对苯二甲酸乙二醇酯	锑(添加剂)	矿泉水瓶	可引起肺功能损伤、慢性支气管炎、肺水肿等	[48]
尼龙	铜、镍、锌(重金属)	铆钉、拉链、食用器皿、服装饰品等	对肝胆造成负担;可导致头晕目眩、恶心呕吐	[49]
聚苯乙烯	十溴二苯醚(阻燃剂)	纺织品加工、电子元件生产等行业	对生物组织的吞噬作用和结构损伤	[50]
聚乙烯	多氯联苯(添加剂)	绝缘油、热载体和润滑油等	引起肝、肾功能受损	[51]

表 3 国内外 MPs 防治政策

Table 3 MPs prevention and control policies at home and abroad

地区	发布日期	法规/政策名称	法规/政策内容
联合国	2017 年 7 月 6 日	《我们的海洋、我们的未来:行动呼吁》	呼吁各国加快行动,预防和显著减少包括塑料和微塑料在内的各种海洋污染,并执行长期而有力的战略
美国	2015 年 12 月 28 日	《无微珠水法》	自 2017 年 7 月 1 日起,禁止生产有意添加的塑料微珠的个人护理品;自 2018 年 7 月 1 日起,禁止销售(包含进口和州际交易)含塑料微珠的个人护理产品
韩国	2016 年	《化妆品安全标准规定》	从 2017 年 7 月份开始将禁止生产塑料微珠;2018 年 8 月起禁止销售含有塑料微珠的化妆品
瑞典	2016 年 1 月	《化学品修订条例》	2018 年 7 月 1 日开始禁止在瑞典市场上销售含有塑料微珠的冲洗型化妆品
法国	2016 年 8 月	《环境法》	2018 年 1 月 1 日起所有含有塑料微珠的化妆品都将禁止销售
加拿大	2016 年 11 月 5 日	《化妆品中塑料微珠法规》	2018 年 7 月 1 日起禁止生产和进口含塑料微珠的化妆品包括非处方药品和天然保健品;2019 年 7 月 1 起禁止出售和待售含塑料微珠的化妆品包括非处方药品和天然保健品
英国	2017 年 9 月	《环境保护(塑料微珠)(英国)法规》	2018 年 1 月禁令正式生效,化妆品和个人护理产品制造商将禁止在磨洁膏、牙膏和沐浴露等产品中添加塑料微珠;2018 年 6 月,英格兰和苏格兰全面禁止销售含有塑料微珠的冲洗型化妆品和个人护理产品的禁令正式生效
新西兰	2017 年 12 月 4 日	《废物最小化法》	从 2018 年 6 月开始禁止所有改善外观、去角质、清洁或磨砂性洗涤产品中,以及个人护理产品(包括家用、汽车和其他清洁产品)中添加塑料微珠
英国(北爱尔兰)	2018 年 5 月 10 日	《环境保护(塑料微珠)(北爱尔兰)法规》	2018 年 9 月起,禁止将直径小于 5 mm 的塑料微珠用于洗去型个人护理产品的成分,并禁止销售任何含有此类成分的产品
中国	2019 年 8 月	《产业结构调整指导目录(2019 年本)》	含塑料微珠的日化用品到 2020 年 12 月 31 日禁止生产,到 2022 年 12 月 31 日禁止销售
中国	2020 年 4 月	《禁止、限制生产、销售和使用的塑料制品(征求意见稿)》	将含塑料微珠的日化产品纳入范围,具体指被刻意添加粒径 ≤ 5 mm 的固体塑料颗粒且起到磨砂、去角质和清洁等作用的淋洗类化妆品和牙膏、牙粉

法规制和政策发展各不相同。对于发展中国家来说,塑料化工仍然是国家经济发展的重要产业,严格禁止塑料制品的生产既不现实也不可取。对于食品中 MPs 污染的防治需要从生产、使用、回收等多个环节入手,才能遏制 MPs 污染以保证食品安全。

4 食品中微塑料污染防治对策建议

针对食品中 MPs 污染的防治,需要相关部门从源头、传播、回收等环节入手采取不同策略进行规制。文章借鉴犯罪预防的三级模式,对 MPs 污染食品的不同阶段提出“源头严防”“传播严管”“末端严控”三级防治措施。

4.1 第一层预防:源头严防,遏制初级、次级微塑料的产生

4.1.1 多种措施相结合,减少现有产品中 MPs 的使用和排放 现有的牙膏(GB/T 8372—2017)、沐浴剂(GB/T 34857—2017)等国家标准中并未将 MPs 纳入检测范围,导致个人洗护用品中大量添加 MPs,以改进产品性能。因此,相关部门应当对现有的标准进行修改,以强制性条款的形式对 MPs 进行管制。除了个人洗护产品中的 MPs,农用地膜、有机化肥等产品在使用过程中也会产生大量 MPs。对于此类产品,应当采取不同的策略开展防治。例如农用地膜,可以采用生物可降解塑料作为代替品^[53]。对于有机肥料、化工溶液等产品,可建立“行业白名单”,对无 MPs 添加的产品予以政策上的支撑和鼓励,促进行业本身自发地改进技术更新设备。

4.1.2 软法硬施,严格贯彻执行“禁塑令” 2020 年 1 月 19 日,《关于进一步加强塑料污染治理的意见》(即“禁塑令”)颁布出台。“禁塑令”中明确提出到 2022 年底,一次性塑料制品的消费量明显减少,替代产品得到推广。因为环境中的固体塑料废物会降解产生次级微塑料造成污染,所以对于“禁塑令”中的任务目标,应当严格落实,按期完成。另外,应当适时将“禁塑令”引入更高位阶的法律,增强其约束力和强制力,提高违反“禁塑令”的间接成本^[54],最终形成一部专门防治塑料污染的全国性法规,完成“软法”到“硬法”的转变。

4.2 第二层预防:传播严管,优化环境中 MPs 的监管、处置与回收

4.2.1 加强政府监管,掐断传播途径 MPs 的传播具有明显的跨地域性,并且相对集中在某些行业和领域。从 MPs 的迁移途径入手,政府部门应当以《土壤污染防治法》《污水综合排放标准》《大气污染防治法》等法律法规为依据,在监管的同时将 MPs 加入到检测和防治范围当中。例如,对污水处理的相关标准予以完善,增添过滤 MPs 的相关内容,防止 MPs 通过污水排放进入土壤中。

4.2.2 完善垃圾分类和回收处置措施 良好的垃圾分类体系可以提高塑料产品的回收率和使用率,以减少塑料污染。垃圾分类和塑料产品的回收使用实际上是将污染防治的责任延伸到消费者的环节,这需要提高全民对于

MPs 污染的认识并共同努力。随着民众对 MPs 认识的逐渐提高、垃圾分类体系的逐渐完善,可有效在传播环节掐断 MPs 污染。

4.3 第三层预防:末端严控,聚焦食品,开展 MPs 的防控检测工作

4.3.1 建立从食品的取材到包装储存的全链条防控体系 环境中的 MPs 会不可避免地生产、运输等环节进入食品中被人体摄入,因此食品是 MPs 威胁人体健康的最终环节。对此,需要食品企业、行业协会及政府部门相互合作,从专业角度、社会角度和监管角度共同研讨,出台适当的政策标准以优化现阶段食品工艺,建立从“食源取材”到“端上餐桌”的全链条防控体系,避免在食品取材和生产运输等过程中受到 MPs 污染。

4.3.2 建立国家强制性标准,开展关于食品中 MPs 的监测工作 MPs 是不同于食品添加剂、农药残留的新型污染物,但其本质均属于侵入食品中的外源性毒害物质。当前中国对“食品接触材料及其制品”制定了相关的标准^[55]。但是所有标准中尚未引入 MPs 概念,未将 MPs 作为一种食品中的外源性污染进行监测和防控。对此,需要监管部门建立强制性标准并建立综合数据库^[56],将 MPs 纳入监测体系中,防范健康风险。

5 结语

习近平总书记强调:“加强食品安全监管,关系全国 13 亿多人‘舌尖上的安全’”。作为一种新型污染物,微塑料污染已对中国食品安全问题提出新的挑战。目前,中国关于食品中微塑料污染的防治还存在较多不足:① 目前亟需建立食品中微塑料的快速无损检测方法并统一定量标准,以科学维度的突破引领政策法规的推进,为立法立标工作提供精确的标准。② 由于 MPs 具有惰性,对人体的急性损伤只有在摄入超高剂量时(超载情况)才会发生。目前,监管部门难以确定精确的量化标准或明确的剂量—反应关系来表明微塑料对人体的危害。对此,各方专家应当积极打破学科壁垒,借助新型的多学科交叉研究手段进行综合研判分析,以确定微塑料对人体的直接影响。③ 需要更多的关于不同食品中微塑料含量的数据支撑,研究不同食品生产工艺对微塑料含量的影响,探索在食品生产过程中去除微塑料的技术方法。

总体而言,对于食品中微塑料的有效防治,需要相关部门给予足够的重视,从“科学维度”和“政策领域”的双管齐下,在积极推进相关研究的同时,尽快建立“食品中微塑料污染的三层预防体系”,出台并落实相关法规政策,严防死守微塑料污染走上人们的餐桌,以保障广大人民群众的食品安全和身体健康。

参考文献

[1] LEBRETON L, ANDRADY A. Future scenarios of global plastic

- waste generation and disposal[J]. Palgrave Communications, 2019, 5 (1): 1-11.
- [2] THOMPSON R C, OLSEN Y, MITCHELL R P, et al. Lost at sea: Where is all the plastic? [J]. Science, 2004, 304(5 672): 838.
- [3] WORM B, LOTZE H K, JUBINVILLE I, et al. Plastic as a persistent marine pollutant[J]. Annual Review of Environment and Resources, 2017, 42: 1-26.
- [4] CARBERY M, O'CONNOR W, PALANISAMI T. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health[J]. Environment International, 2018, 115: 400-409.
- [5] MATTSSON K, EKVALL M T, HANSSON L A, et al. Altered behavior, physiology, and metabolism in fish exposed to polystyrene nanoparticles[J]. Environmental Science & Technology, 2015, 49 (1): 553-561.
- [6] USMAN S, ABDULL RAZIS A F, SHAARI K, et al. Microplastics pollution as an invisible potential threat to food safety and security, policy challenges and the way forward[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(24): 9 591.
- [7] KIM J, LEE H, KIM S, et al. Global pattern of microplastics (MPs) in commercial food-grade salts: Sea salt as an indicator of seawater MP pollution[J]. Environmental Science & Technology, 2018, 52 (21): 12 819-12 828.
- [8] LIEBEZEIT G, LIEBEZEIT E. Non-pollen particulates in honey and sugar[J]. Food Additives & Contaminants (Part A), 2013, 30 (12): 2 136-2 140.
- [9] KUTRALAM-MUNIASAMY G, PÉREZ-GUEVARA F, ELIZALDE-MARTÍNEZ I, et al. Branded milks: Are they immune from microplastics contamination? [J]. Science of the Total Environment, 2020, 714: 136823.
- [10] KOSUTH M, MASON S A, WATTENBERG E V. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt[J]. PLoS One, 2018, 13(4): e0194970.
- [11] 王洪燕. 舟山养殖海域沉积物和海产品体内微塑料污染特征[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019: 1-6.
- WANG Hong-yan. Pollution characteristics of microplastics in sediments and seafood in Zhoushan aquaculture area[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2019: 1-6.
- [12] 王欢欢, 朱先定. 微塑料污染防治法律问题研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2020, 20(1): 12-24.
- WANG Huan-huan, ZHU Xian-ding. Research on legal issues of micro plastic pollution prevention and control[J]. Journal of China University of Geosciences (Social Science Edition), 2020, 20(1): 12-24.
- [13] 薛颖昊, 黄宏坤, 靳拓, 等. 土壤微塑料和农药污染及其对土壤动物毒性效应的研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40 (2): 242-251.
- XUE Ying-hao, HUANG Hong-kun, JIN Tuo, et al. Research progress of soil microplastics and pesticide pollution and their toxic effects on Soil animals[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2021, 40(2): 242-251.
- [14] LI Xiao-wei, CHEN Lu-bei, MEI Qing-qing, et al. Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China[J]. Water Research, 2018, 142: 75-85.
- [15] WALLER C L, GRIFFITHS H J, WALUDA C M, et al. Microplastics in the Antarctic marine system: An emerging area of research[J]. The Science of the Total Environment, 2017, 598: 220-227.
- [16] CHEN Ming-long, JIN Meng, TAO Pei-ran, et al. Assessment of microplastics derived from mariculture in Xiangshan Bay, China[J]. Environmental Pollution, 2018, 242: 1 146-1 156.
- [17] GEYER R, JAMBECK J R, LAW K L. Production, use, and fate of all plastics ever made[J]. Science Advances, 2017, 3(7): e1700782.
- [18] LIEBEZEIT G, LIEBEZEIT E. Origin of synthetic particles in honeys[J]. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2015, 65 (2): 143-147.
- [19] MÜHLSCHLEGEL P, HAUKE A, WALTER U, et al. Lack of evidence for microplastic contamination in honey[J]. Food Additives & Contaminants (Part A), 2017, 34(11): 1 982-1 989.
- [20] LIEBEZEIT G, LIEBEZEIT E. Synthetic particles as contaminants in German beers[J]. Food Additives & Contaminants (Part A), 2014, 31(9): 1 574-1 578.
- [21] IÑIGUEZ M E, CONESA J A, FULLANA A. Microplastics in Spanish table salt[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 1-7.
- [22] PEIXOTO D, PINHEIRO C, AMORIM J, et al. Microplastic pollution in commercial salt for human consumption: A review[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2019, 219: 161-168.
- [23] ZHANG Qun, XU Gen-bo, LI Jia-na, et al. A review of microplastics in table salt, drinking water, and air: direct human exposure[J]. Environmental Science & Technology, 2020, 54(7): 3 740-3 751.
- [24] MASON S A, WELCH V G, NERATKO J. Synthetic polymer contamination in bottled water[J]. Frontiers in Chemistry, 2018, 6: 407.
- [25] CURREN E, LEAW C P, LIM P T, et al. Evidence of marine microplastics in commercially harvested seafood[J]. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 2020, 8: 1 390.
- [26] LI J, GREEN C, REYNOLDS A, et al. Microplastics in mussels sampled from coastal waters and supermarkets in the United Kingdom[J]. Environmental Pollution, 2018, 241: 35-44.
- [27] CHO Y, SHIM W J, JANG M, et al. Abundance and characteristics of microplastics in market bivalves from South Korea[J]. Environmental Pollution, 2019, 245: 1 107-1 116.
- [28] KARAMI A, GOLIESKARDI A, CHOO C K, et al. Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats[J]. Science of the Total Environment, 2018, 612: 1 380-1 386.
- [29] LWANGA E H, VEGA J M, QUEJ V K, et al. Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 1-7.
- [30] LI Qi-pei, FENG Zhi-hua, ZHANG Tao, et al. Microplastics in the commercial seaweed nori[J]. Journal of Hazardous Materials, 2020, 388: 122060.
- [31] HERNANDEZ L M, XU E G, LARSSON H, et al. Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea[J]. Environmental Science & Technology, 2019, 53(21): 12 300-12 310.
- [32] PRATA J C, PAÇO A, REIS V, et al. Identification of microplastics

- in white wines capped with polyethylene stoppers using micro-Raman spectroscopy[J]. *Food Chemistry*, 2020, 331: 127323.
- [33] 凌小芳, 谢天, 李铭, 等. 环境及化工产品中的微塑料及其防治策略[J/OL]. *应用与环境生物学报*. (2020-10-06)[2021-07-21]. <https://doi.org/10.19675/j.cnki.1006-687x.2020.08031>.
- LING Xiao-fang, XIE Tian, LI Ming, et al. Microplastics in environment and chemical products and their control strategies[J/OL]. *Journal of Applied and Environmental Biology*. (2020-10-06)[2021-07-21]. <https://doi.org/10.19675/j.cnki.1006-687x.2020.08031>.
- [34] LEHNER R, WEDER C, PETRI-FINK A, et al. Emergence of nanoplastic in the environment and possible impact on human health[J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53(4): 1 748-1 765.
- [35] COX K D, COVERNTON G A, DAVIES H L, et al. Human consumption of microplastics [J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53(12): 7 068-7 074.
- [36] 张瑾, 李丹. 环境中微/纳米塑料的污染现状、分析方法、毒性评价及健康效应研究进展[J]. *环境化学*, 2021, 40(1): 28-40.
- ZHANG Jin, LI Dan. Pollution status, analytical methods, toxicity evaluation and health effects of micro/nano plastics in the environment[J]. *Environ Chem*, 2021, 40(1): 28-40.
- [37] SCHWABL P, KÖPPEL S, KÖNIGSHOFER P, et al. Detection of various microplastics in human stool: A prospective case series[J]. *Annals of Internal Medicine*, 2019, 171(7): 453-457.
- [38] HUSSAIN N, JAITLEY V, FLORENCE A T. Recent advances in the understanding of uptake of microparticulates across the gastrointestinal lymphatics[J]. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2001, 50: 107-142.
- [39] BRUININK A, WANG J, WICK P. Effect of particle agglomeration in nanotoxicology [J]. *Archives of Toxicology*, 2015, 89(5): 659-675.
- [40] SCHIRINZI G F, PÉREZ-POMEDA I, SANCHÍS J, et al. Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells[J]. *Environmental Research*, 2017, 159: 579-587.
- [41] POWELL J J, THOREE V, PELE L C. Dietary microparticles and their impact on tolerance and immune responsiveness of the gastrointestinal tract[J]. *British Journal of Nutrition*, 2007, 98(S1): S59-S63.
- [42] HANDY R D, HENRY T B, SCOWN T M, et al. Manufactured nanoparticles: their uptake and effects on fish: A mechanistic analysis[J]. *Ecotoxicology*, 2008, 17(5): 396-409.
- [43] WU Peng-fei, TANG Yuan-yuan, JIN Hang-biao, et al. Consequential fate of bisphenol-attached PVC microplastics in water and simulated intestinal fluids[J]. *Environmental Science and Ecotechnology*, 2020(2): 100027.
- [44] SCOPETANI C, CINCINELLI A, MARTELLINI T, et al. Ingested microplastic as a two-way transporter for PBDEs in *Talitrus saltator*[J]. *Environmental Research*, 2018, 167: 411-417.
- [45] ALMEIDA S, RAPOSO A, ALMEIDA-GONZÁLEZ M, et al. Bisphenol A: Food exposure and impact on human health[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2018, 17(6): 1 503-1 517.
- [46] 王慧, 裘洪梅, 杨琳, 等. 甲醛污染降解技术研究进展[J]. *中国职业医学*, 2020, 47(2): 219-222.
- WANG Hui, QIU Hong-mei, YANG Lin, et al. Research progress of formaldehyde pollution degradation technology[J]. *China Occupational Medicine*, 2020, 47(2): 219-222.
- [47] BROWN D M, WILSON M R, MACNEE W, et al. Size-dependent proinflammatory effects of ultrafine polystyrene particles: A role for surface area and oxidative stress in the enhanced activity of ultrafines[J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2001, 175(3): 191-199.
- [48] REVEL M, CHÂTEL A, MOUNEYRAC C. Micro (nano) plastics: A threat to human health? [J]. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2018(1): 17-23.
- [49] TANG Shu-ai, LIN Lu-jian, WANG Xue-song, et al. Interfacial interactions between collected nylon microplastics and three divalent metal ions[Cu (II), Ni (II), Zn (II)] in aqueous solutions[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, 403: 123548.
- [50] XIA Bin, ZHANG Jing, ZHAO Xin-guo, et al. Polystyrene microplastics increase uptake, elimination and cytotoxicity of decabromodiphenyl ether (BDE-209) in the marine scallop *Chlamys farreri*[J]. *Environmental Pollution*, 2020, 258: 113657.
- [51] LO H S, WONG C Y, TAM N F, et al. Spatial distribution and source identification of hydrophobic organic compounds (HOCs) on sedimentary microplastic in Hong Kong[J]. *Chemosphere*, 2019, 219: 418-426.
- [52] 崔野. 全球海洋塑料垃圾治理: 进展、困境与中国的参与[J]. *太平洋学报*, 2020, 28(12): 79-90.
- CUI Ye. Global management of marine plastic waste: Progress, dilemma and China's participation[J]. *Pacific Journal*, 2020, 28(12): 79-90.
- [53] 卢芸笑, 王天顺, 王晨光, 等. 植物基完全可降解生物塑料的现状 & 展望[J]. *食品工业*, 2020, 41(3): 207-210.
- LU Yun-xiao, WANG Tian-shun, WANG Chen-guang, et al. Present situation and prospect of plant-based completely degradable bioplastics[J]. *Food Industry*, 2020, 41(3): 207-210.
- [54] 孟强, 李春雷. 基于犯罪经济学视角的危害食品安全犯罪生成逻辑与治理进路[J]. *食品与机械*, 2020, 36(10): 59-64.
- MENG Qiang, LI Chun-lei. Generation logic and governance path of crimes against food safety based on the perspective of criminal economics[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(10): 59-64.
- [55] 商贵芹, 姜欢, 刘桂华, 等. 中国食品接触材料新食品安全国家标准[J]. *包装工程*, 2017, 38(15): 106-110.
- SHANG Gui-qin, JIANG Huan, LIU Gui-hua, et al. New national food safety standard for food contact materials in China[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(15): 106-110.
- [56] 孟庆亮, 尧海昌. 大数据环境下基于神经网络技术的食品安全监管[J]. *食品与机械*, 2021, 37(1): 104-107.
- MENG Qin-jie, YAO Hai-chang. Food safety supervision based on neural network technology in large data environment[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(1): 104-107.