

植物油中微塑料污染潜在风险及控制

于旻皖¹, 郭鑫², 刘睿杰¹, 常明¹

(1. 江南大学食品学院, 江苏无锡214122; 2. 马萨诸塞大学阿默斯特分校食品学院, 美国马萨诸塞州01003)

摘要:微塑料是指由塑料制品破碎而产生的直径小于5 mm且广泛分布于生态系统中的一种微型污染物。微塑料通常会随着植物汲取营养或动物进食被摄入体内,进而在生物体内不断富集,并产生多种危害。微塑料有良好的亲脂性,但植物油中微塑料的污染风险却未被重视。分析植物油在加工、运输和贮藏等过程中存在的微塑料污染的潜在风险及微塑料污染危害,进而对植物油中微塑料的检测与脱除方法进行论述,旨在为控制植物油微塑料污染提供一定参考。

关键词:微塑料;植物油;污染;安全

中图分类号:TS201.6; X56 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)09-0089-04

Potential risk and control of microplastics contamination in vegetable oils

YU Minhuan¹, GUO Xin², LIU Ruijie¹, CHANG Ming¹

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China; 2. School of Food Science and Technology, University of Massachusetts Amherst - Umass, Massachusetts 01003, USA)

Abstract: Microplastics are minuscule contaminant, measuring less than 5 mm in diameter, that result from the fragmentation of plastic products and have become ubiquitous throughout the ecosystem. These microplastics are frequently ingested by animals during feeding or absorbed by plants as they draw nutrients from their surroundings, ultimately accumulated within organisms to produce a range of hazards. Although microplastics exhibit high lipophilicity, the potential contamination via vegetable oils has not been fully recognized. The contamination risk posed by microplastics in vegetable oils during processing, transportation and storage and the hazards of microplastics were analyzed, then the methods for detecting and removing microplastics from vegetable oils were summarized, aiming to provide some reference for controlling microplastics contamination of vegetable oils.

Key words: microplastics; vegetable oil; contamination; safety

微塑料是指塑料制品及其碎片在机械磨损、紫外线或风化等作用下,产生的直径介于0.1 μm~5 mm的次级微粒或直径小于100 nm的纳米微粒的统称^[1]。由于微塑料不易降解,并易于在生物体内积累,因此其已被认定为新型污染物^[2]。

目前人们发现微塑料已经遍布整个生态系统,并且其可以通过各种途径不断由食物链转移和积累^[3-4]。土壤中的微塑料通常可以被植物根部吸收

并富集^[5],并在植物的蒸腾作用下加速转移^[6],而Mahu等^[7]在160余种海鱼的肠道中检出了微塑料颗粒,因而处在食物链最顶端的人类所受微塑料危害将会更大。此外,塑料聚合物具有较好的脂溶性,在油脂加工、包装、运输、储存和烹饪过程中更容易溶出,从而导致其最后在人体中被不断积累^[3-7]。研究表明,塑料包装食品中微塑料的检出率为74%,而每周订塑料包装的外卖食品1~2次的人群可摄入170~638个微塑料颗粒^[8]。微塑料的积累可以造成小鼠肠道屏障功能损伤,诱发和加速肠炎的发展^[9-10],并与细胞损伤、炎症与癌变存在明显量效关系^[11-12]。

在油料种植和植物油加工、储运、烹饪过程中,更易污染微塑料颗粒,风险不容小觑。然而当前关

收稿日期:2023-03-30;修回日期:2023-06-27

作者简介:于旻皖(2000),男,在读硕士,研究方向为油脂营养与安全(E-mail)yuminhuanjndx@163.com。

通信作者:常明,教授,博士生导师(E-mail)mingchang@aliyun.com。

于植物油中微塑料污染的相关研究鲜有报道。本文从植物油的生产加工、运输和贮藏等过程进行论述,分析微塑料污染的潜在风险,论述植物油中微塑料的污染危害及微塑料的检测与脱除方法,以期控制植物油中微塑料污染提供参考。

1 植物油中微塑料的污染风险

1.1 植物油的生产加工

作物籽粒会富集土壤或水体中的微塑料颗粒。研究发现,粒径小于 80 nm 的微塑料可由植物根部转运至籽粒,附于胚乳细胞膜表面并逐渐插入,最终被脂质包裹内吞入细胞并不断积累,此转运-内吞作用伴随籽粒成熟的全过程^[13]。当采用压榨工艺制备植物油时,油料中积累的微塑料由于亲脂性而易与油脂一起被榨出。浸出法制油时,由于有机溶剂的作用使得油料中微塑料颗粒的转移效率更高,并且有机溶剂在贮藏或转运时接触的塑料制品也会增加其中微塑料的污染风险,而溶剂回收过程却又无法去除引入的微塑料。此外,植物油制取和精炼过程中使用的相关助剂、塑料容器、少数含塑料的设备与设备间的传输途径等也会存在微塑料污染的隐患。

1.2 植物油的包装

微塑料具有较强的脂溶性,植物油分子会缓慢渗入塑料聚合物内部,使塑料分子间体积膨胀,分子间作用力降低,导致塑料以十分缓慢的速度断键并脱落,而震荡和升温会导致溶剂分子运动加快和接触面波动加大,从而加速植物油渗透与微塑料剥离的进程。

目前市售的普通植物油,除极少数采用玻璃或金属材料包装外,大部分采用 PET 材料包装,这可能会增加植物油中微塑料污染的风险。Xu 等^[14]用不同食品模拟物分析了塑料容器的微塑料污染风险,结果发现,微塑料溶出效率大小为脂肪食品 > 酒精食品 > 水性食品,这表明油脂体系更有利于微塑料的迁移,然而目前尚无有效办法可以避免塑料包装容器微塑料的迁移。塑料包装容器中的微塑料不仅源自瓶体的缓慢释放,瓶盖开关时的摩擦同样可以促进微塑料的释放^[15],由此推测,植物油在吹瓶和灌装时,微塑料的摩擦释放效率可能更高。另外 Sobhani 等^[16]研究发现,在日常生活中对塑料制品进行简单的手撕、刀割及剪断等操作,均会随机产生不同大小与不同形状的微塑料,其中刀割生成的数量最高,因此植物油塑料包装的使用方式也是微塑料污染的影响因素之一。

1.3 植物油的运输与贮藏

高温可加快微塑料的释放。Li 等^[17]研究表明,当灌装温度从 25 °C 升高至 95 °C 时,PP 婴儿奶瓶中

微塑料的释放量从 0.6 个/L 急剧增加到 5 500 万个/L。Ranjan 等^[18]研究发现,用一次性纸杯装 90 °C 水,15 min 后内壁疏水的聚乙烯膜就会发生严重降解,大量微塑料颗粒被释放入水中。Wang 等^[19]研究发现,滴漏咖啡袋在 95 °C 浸泡 5 min 即可释放 1 万多个微塑料颗粒。另外,即使在低温条件下,剧烈的机械震荡同样会诱发微塑料的大量释放^[17]。植物油成品在运输和转移过程中,容易产生温度波动与机械震荡,这极易造成容器中微塑料的脱落与溶出,尤其是在夏季气温较高的区域或时间,虽然低温静置存储可以放缓微塑料的迁移速率,但无法完全避免。Mortula 等^[20]用 7 种不同类型的塑料垃圾浸出实验研究微塑料在水中的释放情况,结果表明,各类微塑料在水中均有浸出,浸出量受介质 pH 的影响,其中中性时最低。

综上,采用塑料容器灌装的植物油,会受到塑料容器本身加工、植物油灌装时与塑料容器的摩擦、包装过程中的震荡、在塑料容器中的保存时间、全过程温度变化的影响而发生微塑料污染。

2 植物油中微塑料的污染危害分析

微塑料污染可能会损坏植物的光系统,导致油料作物籽粒中的脂质发生过氧化^[21],促使油料劣变。此外,有研究表明,将亲脂分子包裹于工程脂质纳米颗粒,即胶束、微乳液、纳米乳液和固体脂质中,可显著增加亲脂分子的生物利用率。混合脂质进入消化道后被分解,而后在小肠中组装为混合胶束,即可运输亲脂性物质到肠黏膜细胞^[22]。Kusi - Appiah 等^[23]将亲脂性纳米粒子包裹于脂质体中,加强了纳米粒子的细胞递送效果。由此推测,植物油能够提供形成工程脂质的多种成分,而植物油又多与其他食物配合使用,其与食物中的成分互补即可协助脂质体或胶束的形成,形成的工程脂质可包裹微塑料并加强微塑料的吸收效率,从而对人体造成危害,并且微塑料对脂溶性物质较强的吸附能力可能会吸附结合油脂中的亲脂成分,增强微塑料吸附于细胞膜并进入细胞的能力。

体外模拟消化研究发现,微塑料会抑制脂肪酶的活性,显著降低胃肠道对脂肪的消化能力^[24]。而体外肝脏模型研究表明,微塑料可以诱发脂毒性,造成肝脏的严重氧化应激和脂肪变性^[25]。由此推测,微塑料在富含油脂的食物中会造成更大的风险。

3 微塑料的测定与脱除

3.1 微塑料的测定

目前植物油微塑料污染问题仍未受到广泛关注,尚无文献直接对植物油中的微塑料进行测定,但

对植物油进行消化或过滤提取再测定的方式理论可行。Cole等^[26]分别使用酸、碱和酶3种消化技术,对海洋中的浮游动物进行消化,再进一步提取微塑料,结果表明,酶法消化获取的微塑料最为完整。另外,植物油为黏稠液体,可由玻璃纤维、硝酸纤维素、醋酸纤维素膜和金属涂层过滤器过滤而直接获得微塑料^[27],该过程中可结合加热与有机溶剂互溶等方式降低植物油黏稠度以加快过滤速率。

微塑料的检测主要有直接观察法、光谱分析法、热分析法和热裂解-气相色谱-质谱联用法(PY-GC-MS)等。直接观察法是在显微镜或电镜下,直接观察并计量微塑料的大小和数量。光谱分析法是利用拉曼光谱或傅里叶变换红外光谱快速识别微塑料等高分子材料。Sobhani等^[28]通过识别激光光斑与像素大小,利用拉曼光谱实现了100 nm微塑料的鉴别。Meyns等^[29]结合纳米分辨傅里叶红外光谱与散射式扫描近场光学显微镜成像分析法检测微塑料,最低检测粒径可达20 nm。

3.2 微塑料的脱除

目前,微塑料在水相中的脱除主要采用吸附法与油相萃取法。高岭土可被用于植物油的精炼,通过向高岭土中引入Fe、Mn等金属元素改性,增强其对微塑料的吸附能力,能够使其具有脱除植物油中微塑料的应用潜力,虽然改性高岭土的吸附性能不突出且吸附模式未知,但成本低且可再生循环^[30]。甘蔗渣生物炭对纳米微塑料具有较好的脱除效果,吸附方式为单层瞬时吸附,短时间即可达到吸附平衡^[31],但相关研究是在水相体系中完成的,在油脂体系中的适用性尚待进一步研究。锆金属有机框架的海绵橡胶材料可以快速脱除水中特定粒径的微塑料,最高脱除率可达95.5%,同时可以多次循环使用^[32]。另有研究发现,微塑料的疏水表面可结合疏水磁性纳米粒子而磁化,因此用磁场分离法使 Fe_3O_4 磁种子与微塑料结合,并通过外加磁场分离团聚体,可实现微塑料的脱除^[33]。

4 结束语

作为当前备受关注的新型污染物,微塑料以其良好稳定性广泛分布于生态系统中。然而,目前人们对微塑料污染的关注主要集中于水相体系,却忽视了油脂体系。植物油作为食品工业的重要原料,更易受微塑料的污染,故应予以高度重视。此外,食物在肠道消化过程中,胶束可以显著增加人体对各类亲脂分子的吸收。富含油脂的饮食更利于胶束的形成,这种情况下肠道对微塑料颗粒的吸收如何尚不明确,油脂是否会促进微塑料颗粒在细胞中沉积

亟待阐释。人们对食品中微塑料污染的检测手段还不够先进,现有方法具有很大的局限性,尤其是针对脂溶性体系。综上,植物油的微塑料污染安全需要重视。

参考文献:

- [1] PRÜST M, MEIJER J, WESTERINK R H S. The plastic brain: neurotoxicity of micro- and nanoplastics [J/OL]. *Part Fibre Toxicol*, 2020, 17(1): 24 [2023-03-30]. <https://doi.org/10.1186/s12989-020-00358-y>.
- [2] GUO J J, HUANG X P, XIANG L, et al. Source, migration and toxicology of microplastics in soil [J/OL]. *Environ Int*, 2020, 137: 105263 [2023-03-30]. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105263>.
- [3] BHATTACHARYA P, LIN S, TURNER J P, et al. Physical adsorption of charged plastic nanoparticles affects algal photosynthesis [J]. *J Phys Chem C*, 2010, 114(39): 16556-16561.
- [4] COX K D, COVERNTON G A, DAVIES H L, et al. Human consumption of microplastics [J]. *Environ Sci Technol*, 2019, 53(12): 7068-7074.
- [5] LIU Y, GUO R, ZHANG S, et al. Uptake and translocation of nano/microplastics by rice seedlings: evidence from a hydroponic experiment [J/OL]. *J Hazard Mater*, 2022, 421: 126700 [2023-03-30]. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126700>.
- [6] LI L, LUO Y, LI R, et al. Effective uptake of submicrometre plastics by crop plants via a crack-entry mode [J]. *Nature Sustain*, 2020, 3(11): 929-937.
- [7] MAHU E, DATSOMOR W G, FOLORUNSHO R, et al. Human health risk and food safety implications of microplastic consumption by fish from coastal waters of the eastern equatorial Atlantic ocean [J/OL]. *Food Control*, 2023, 145: 109503 [2023-03-30]. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109503>.
- [8] BAI C L, LIU L Y, GUO J L, et al. Microplastics in take-out food: are we over taking it? [J/OL]. *Environ Res*, 2022, 215: 114390 [2023-03-30]. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114390>.
- [9] JIN Y, LU L, TU W, et al. Impacts of polystyrene microplastic on the gut barrier, microbiota and metabolism of mice [J]. *Sci Total Environ*, 2019, 649: 308-317.
- [10] XIE S, ZHANG R, LI Z Y, et al. Microplastics perturb colonic epithelial homeostasis associated with intestinal overproliferation, exacerbating the severity of colitis [J/OL]. *Environ Res*, 2023, 217: 114861 [2023-03-30]. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114861>.
- [11] WU S, WU M, TIAN D, et al. Effects of polystyrene microbeads on cytotoxicity and transcriptomic profiles in

- human Caco – 2 cells [J]. *Environ Toxicol*, 2020, 35 (4): 495 – 506.
- [12] CETIN M, MILOGLU F D, BAYGUTALP N K, et al. Higher number of microplastics in tumoral colon tissues from patients with colorectal adenocarcinoma [J]. *Environ Chem Lett*, 2023, 21: 639 – 646.
- [13] JIANG M, WANG B, YE R, et al. Evidence and impacts of nanoplastic accumulation on crop grains [J/OL]. *Adv Sci*, 2022, 9 (33): e2202336 [2023 – 03 – 30]. <https://doi.org/10.1002/advs.202202336>.
- [14] XU X, GUO J, GAO Y, et al. Leaching behavior and evaluation of zebrafish embryo toxicity of microplastics and phthalates in take – away plastic containers [J]. *Environ Sci Pollut Res*, 2023, 30(8): 21104 – 21114.
- [15] SINGH T. Generation of microplastics from the opening and closing of disposable plastic water bottles [J]. *J Water Health*, 2021, 19(3): 488 – 498.
- [16] SOBHANI Z, LEI Y, TANG Y, et al. Microplastics generated when opening plastic packaging [J/OL]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 4841 [2023 – 03 – 30]. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61146-4>.
- [17] LI D, SHI Y, YANG L, et al. Microplastic release from the degradation of polypropylene feeding bottles during infant formula preparation [J]. *Nature Food*, 2020, 1 (11): 746 – 754.
- [18] RANJAN V P, JOSEPH A, GOEL S. Microplastics and other harmful substances released from disposable paper cups into hot water [J/OL]. *J Hazard Mater*, 2021, 404: 124118 [2023 – 03 – 30]. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124118>.
- [19] WANG H P, HUANG X H, CHEN J N, et al. Pouring hot water through drip bags releases thousands of microplastics into coffee [J/OL]. *Food Chem*, 2023, 415: 135717 [2023 – 03 – 30]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135717>.
- [20] MORTULA M M, ATABAY S, FATTAH K P, et al. Leachability of microplastic from different plastic materials [J/OL]. *J Environ Manage*, 2021, 294: 112995 [2023 – 03 – 30]. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112995>.
- [21] LI H, SONG F, SONG X, et al. Single and composite damage mechanisms of soil polyethylene/polyvinyl chloride microplastics to the photosynthetic performance of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) [J/OL]. *Front Plant Sci*, 2023, 13: 1100291 [2023 – 03 – 30]. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1100291>.
- [22] MINGFEI Y, HANG X, MCCLEMENTS D J. Delivery of lipophilic bioactives: assembly, disassembly, and reassembly of lipid nanoparticles [J]. *Ann Rev Food Sci Technol*, 2014, 5: 53 – 81.
- [23] KUSI – APPIAH A E, MASTRONARDI M L, QIAN C, et al. Enhanced cellular uptake of size – separated lipophilic silicon nanoparticles [J/OL]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 43731 [2023 – 03 – 30]. <https://doi.org/10.1038/srep43731>.
- [24] TAN H, YUE T, XU Y, et al. Microplastics reduce lipid digestion in simulated human gastrointestinal system [J]. *Environ Sci Technol*, 2020, 54(19): 12285 – 12294.
- [25] CHENG W, LI X, ZHOU Y, et al. Polystyrene microplastics induce hepatotoxicity and disrupt lipid metabolism in the liver organoids [J/OL]. *Sci Total Environ*, 2022, 806: 150328 [2023 – 03 – 30]. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150328>.
- [26] COLE M, WEBB H, LINDEQUE P K, et al. Isolation of microplastics in biota – rich seawater samples and marine organisms [J/OL]. *Sci Rep*, 2014, 4(1): 4528 [2023 – 03 – 30]. <https://doi.org/10.1038/srep04528>.
- [27] GUO X, LIN H, XU S, et al. Recent advances in spectroscopic techniques for the analysis of microplastics in food [J]. *J Agric Food Chem*, 2022, 70(5): 1410 – 1422.
- [28] SOBHANI Z, ZHANG X, GIBSON C, et al. Identification and visualisation of microplastics/nanoplastics by Raman imaging (i): down to 100 nm [J/OL]. *Water Res*, 2020, 174: 115658 [2023 – 03 – 30]. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115658>.
- [29] MEYNS M, PRIMPKE S, GERDTS G. Library based identification and characterisation of polymers with nano – FTIR and IR – sSNOM imaging [J]. *Anal Meth*, 2019, 11(40): 5195 – 5202.
- [30] HUANG Z K, BU J Q, WANG H. Application of two modified kaolin materials in removing micro – plastics from water [J]. *J Mater Cycles Waste Manage*, 2022, 24(4): 1460 – 1475.
- [31] GANIE Z A, KHANDELWAL N, TIWARI E, et al. Biochar – facilitated remediation of nanoplastic contaminated water: effect of pyrolysis temperature induced surface modifications [J/OL]. *J Hazard Mater*, 2021, 417: 126096 [2023 – 03 – 30]. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126096>.
- [32] LAN Y Q, CHEN Y J, CHEN Y, et al. Metal – organic framework based foams for efficient microplastic removal [J]. *J Mater Chem A*, 2020, 8: 14644 – 14652.
- [33] RHEIN F, SCHOLL F, NIRSCHL H. Magnetic seeded filtration for the separation of fine polymer particles from dilute suspensions: microplastics [J]. *Chem Eng Sci*, 2019, 207: 1278 – 1287.