

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240930002

食品中矿物油污染研究进展

李 丽, 李燕杰*, 王 缈, 陈 昊, 章 祎, 周晏琳

(辽宁晟麦实业股份有限公司, 大连 116085)

摘 要: 随着 society 对食品安全议题关注度的持续攀升, 食品污染问题, 尤其是其中的矿物油污染, 已跃升为公众舆论与监管机构的核心关切。近期曝光的“中储粮油罐车疑似混装食用油”事件, 激起社会各界对食品中潜在矿物油污染的深切忧虑与广泛讨论。鉴于此, 首先, 本文概述了矿物油的基本特性, 剖析矿物油污染对食品安全的潜在威胁, 从健康危害的角度, 揭示其对人体健康的长期与短期影响。同时, 探讨食品中矿物油的风险与防控, 追溯矿物油污染的多元来源, 探讨有效防控矿物油污染的策略与措施。此后, 依托国内外前沿的食品矿物油检测技术分析, 运用科技赋能, 为食品安全构筑坚实屏障。最后, 梳理国内外关于食品中矿物油污染的相关法律法规, 为法律规制提供理论支撑。旨在通过本文的探讨与分析, 为规范食品中矿物油污染、提升食品安全整体水平提供参考。

关键词: 矿物油; 污染; 危害; 风险与防控

Research progress of mineral oils contamination in food

LI Li, LI Yan-Jie*, WANG Miao, CHEN Hao, ZHANG Yi, ZHOU Yan-Lin

(Sanmark Corp., Dalian 116085, China)

ABSTRACT: With the increasing attention on food safety issues in society, food contamination, particularly mineral oil contamination, has quietly risen to become a core concern of public opinion and regulatory agencies. The recent exposure of the “suspected mixing of edible oils in grain and oil tankers of Sinograin” incident has sparked deep concerns and widespread discussions among all sectors of society about potential mineral oil contamination in food. In response, this article first outlined the basic characteristics of mineral oil, analyzed the potential threats of mineral oil contamination to food safety, and revealed its long-term and short-term impacts on human health. Meanwhile, it explored the risks and prevention of mineral oil in food, traced the diverse sources of mineral oil contamination, and discussed strategies and measures for effective prevention and control of mineral oil contamination. Subsequently, relying on advanced food mineral oil detection technologies at home and abroad, it leveraged technology to build a solid barrier for food safety. Finally, it summarized relevant laws and regulations on mineral oil contamination in food both domestically and internationally, providing theoretical support for legal regulation. The purpose of this article is to provide references for regulating mineral oil contamination in food and improving the overall level of food safety through discussion and analysis.

KEY WORDS: mineral oil; contamination; harm; risk and control

*通信作者: 李燕杰, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为油脂新资源及油脂生产工艺。E-mail: liyanjie@sanmarkltd.com

*Corresponding author: LI Yan-Jie, Master, Senior Engineer, Sanmark Corp., 15th Floor, 3A-1 Xin Da Street, High-Tech Zone, Dalian 116085, China. E-mail: liyanjie@sanmarkltd.com

0 引 言

食品中矿物油污染由来已久, 矿物油污染事件在国内外已经屡见不鲜。早在 1987 年中国某专科学校警卫连发生 40 多人食用矿物油含量高于 1% 的菜籽油集体中毒事件^[1]; 1999 年, 广东省肇庆市某食堂烹调时使用含矿物油的豆油, 导致 754 人(也有报道为 681 人)急性中毒^[2-3]。直至 2024 年 7 月, “中储粮油罐车混装食用油”事件^[4]引发的食品中矿物油污染问题仍然没有得到监管, 这一新闻引发了公众对食品中矿物油污染的广泛担忧。国外食用油品质也同样令人困扰, 1981 年西班牙马德里发生了一起菜籽油被润滑油污染导致的中毒案^[5], 据统计共有 2.5 万人出现中毒症状; 2008 年, 乌克兰生产的近 10 万 t 葵花籽油中矿物油污染物含量高达 1000 mg/kg, 因此, 欧盟对乌克兰葵花籽油中饱和烃矿物油污染物设立了 50 mg/kg 的法定限值^[5-7]。另外, 各国在面粉、谷物、面包、饼干、奶油、婴幼儿奶粉等食品中也相继检测出矿物油^[6,8-10]。

鉴于此, 本文对食品中矿物油污染相关问题进行梳理, 为规范食品中矿物油污染、提升食品安全整体水平提供参考。

1 矿物油

矿物油作为一种重要的工业原料, 主要来源于石油原油的精炼过程, 这是个复杂的物理和化学转化过程, 包括石油原油的常压和减压物理分离(如萃取、蒸馏)、化学转化(如裂解、氢化、烷基化)^[6]。除了石油原油, 矿物油还可以通过煤、天然气和生物质的液化过程得到^[6,11]。矿物油的成分极其复杂, 食品中的矿物油一般是指 C₁₀~C₅₀ 的复杂烃类混合物, 包括日常接触到的燃料、溶剂、润滑剂、蜡等^[12-13]。

根据矿物油的化学组成和结构特性分类, 一般将矿物油分为饱和烃矿物油(mineral oil saturated hydrocarbons, MOSH)和芳香烃矿物油(mineral oil aromatic hydrocarbons, MOAH), 化学结构见图 1。MOSH 包含石蜡(直链烷烃、支

链烷烃)和环烷烃^[14]; MOAH 主要是高度烷基化的芳香烃, 同时也含有微量没有烷基取代的多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH)以及含氮、含硫化合物^[15]。一般来说工业级的润滑油中会存在 15%~35% 的 MOAH, 而精炼过的食品级白油中几乎全部都是 MOSH^[6]。

2 矿物油对人类健康的潜在影响

2.1 矿物油的生物转运特性

研究表明矿物油在体内的消化吸收方式主要根据矿物油的物理特性和分子组成不同而有所差异^[16], 碳原子数量大于 32 的矿物油基本不被机体吸收和代谢^[15]。而 C₁₆~C₃₅ 之间的矿物油(以 MOSH 为主)可以经由小肠和肝脏吸收代谢成为脂肪酸和脂肪醇, 并且在体内具有一定的肝脏、肾脏、脾脏和肠系膜淋巴结蓄积作用, 其中蓄积作用在 C₂₄ 的矿物油表现较为明显^[15,17]; MOAH 的毒性需要额外注意, 有研究发现含有 3~7 个环的芳香环结构(polycyclic aromatic compounds, PAC)的 MOAH 具有更强的毒性, 包括致癌性和遗传毒性(致畸性)^[18-20]。

2.2 对机体的毒性作用

2.2.1 急性毒性

急性毒性的机制是指机体(人或试验动物)一次接触或在 24 h 内多次接触外来化学物之后引起的快速强烈的中毒效应, 包括一般行为、外观改变及形态改变, 甚至死亡效应。

矿物油白油是非常常见的食品级润滑油, 是目前为止被评估的食品安全风险最低的矿物油, 根据欧洲化学品管理局(European Chemicals Agency, ECHA)报道^[21]称, 食品级白油(C₁₅~C₅₀)急性毒理学试验(14 d)结果为: 经口填喂得到的半数致死量(median lethal dose, LD₅₀)为 5000 mg/kg, 4 h 内经呼吸道接触的半数致死浓度(lethal concentration 50, LC₅₀)为 4500 mg/m³, 真皮注射的 LD₅₀ 为 2000 mg/kg。结果表明食品级白油对动物的毒性为低毒性到中等毒性。

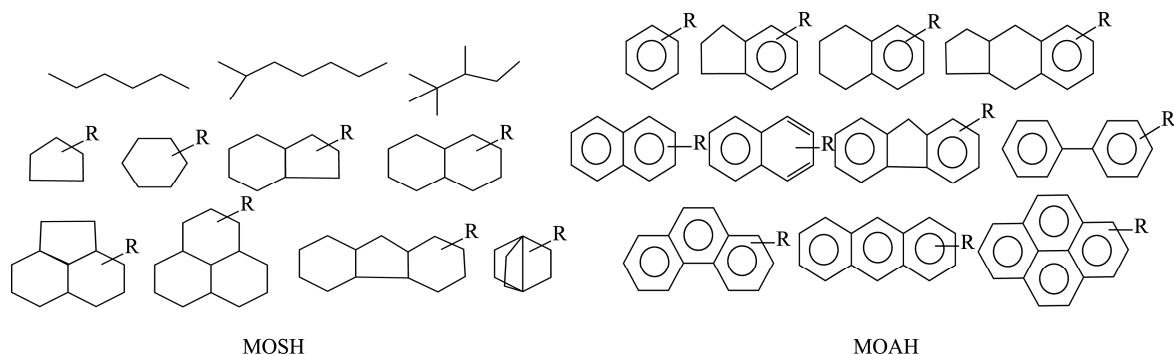


图1 矿物油化学结构

Fig.1 Chemical structure of mineral oil

除安全风险最低的食品级白油为低毒到中等毒性之外,其余种类的食品中矿物油急性毒性中毒主要表现为急性胃肠炎,包括全身不适、食欲不振、恶心、畏寒、腹痛腹泻、发热和呕吐症状,并伴有轻度脱水和抽搐等症状,部分较重患者中的血常规检查显示其白细胞及中性核分叶轻度增高,肝功、肾功、电解质和心电图检查无异常^[1-3]。经过紧急医治后恢复健康,并无后遗症。而且矿物油中毒事件的发病率和症状之间有一定的个体差异,身体素质较强,对外来化学物有一定的自身抵抗能力,发病率较低。

2.2.2 蓄积毒性

蓄积毒性机理为矿物油进入机体后,经过复杂的生物转化和转运过程,在体内的总量不断增加并贮留,称为矿物油的蓄积作用。

C₁₆~C₃₅之间的饱和矿物油(以 MOSH 为主,包括植物来源的碳氧化合物),可以经由小肠和肝脏吸收代谢成为脂肪酸和脂肪醇,并且在体内具有一定蓄积作用,效应器官主要为肠系淋巴结(mesenteric lymph node, MLN)、肝脏、脂肪组织、脾脏和肺脏。其中 C₂₄的 MOSH 蓄积作用表现较为明显^[6,17]。各效应器官所蓄积的矿物油种类和含量有所不同,MLN 和脂肪组织之间、脾脏和肝脏心脏之间的矿物油种类相同;肾脏和大脑中矿物油含量明显较低,MLN 和脾脏中矿物油含量最高。而 MOAH 暂未表现出蓄积性。

2.2.3 亚慢性毒性、慢性毒性

2009 年,欧洲食品科学委员会(Scientific Committee for Food of the European Community, SCF)和联合国粮农组织和世界卫生组织的联合食品添加剂专家委员会(Joint Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization Expert Committee on Food Additives, JECFA)对高黏度白矿物油(high viscosity mineral oil, HVMO)作为添加剂的安全性进行了评估,评估依据为每日按体重摄入 0~4 mg/kg 的白色石蜡油,特别关注了 100 °C 时运动黏度超过 8.5 cSt 的矿物油成分。根据鼠的未观察到损害作用剂量(no observed adverse effect level, NOAEL),食品添加剂专家委员会推导出人的每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI),建议 HVMO 的 ADI 为 0~20 mg/kg 体重/d^[22]。

2012 年, JECFA 依据一项为期 90 d 的小鼠亚慢性、慢性毒性试验对矿物油的毒性进行了评估。试验发现,随着矿物油暴露水平的增加,小鼠出现肝脏和肾脏增重、肠膜淋巴结增重以及组织细胞增多等症状。然而,这些症状并不能直接证明矿物油对小鼠产生了副作用,而只是表明了暴露水平与某些生理变化之间的关联。此外,研究还发现矿物油的毒性与其黏度有关,矿物油的黏度越低(即相对分子量越小),表现出的毒性越明显^[6,22]。

2.2.4 免疫毒性和生殖毒性

研究表明,某些矿物油成分在特定条件下可能对免疫系统产生负面影响。REEVES 等^[23]通过腹腔注射正十九

烷矿物油给小鼠,观察到小鼠出现脂肪肉芽肿、自身抗体产生以及系统性红斑狼疮等自身免疫疾病的症状。这一发现揭示了长链烷烃潜在的免疫毒性。另一项由 ZHU 等^[24]开展的研究发现,异十八烷烃矿物油的皮下注射可导致小鼠关节炎,这同样是一种自身免疫反应的表现。这些研究共同强调了不同矿物油成分在诱发自身免疫疾病方面的潜在风险,为相关物质的安全使用提供了重要警示。

另外对小鼠生殖毒性的研究表明,合理剂量下摄入特定矿物油成分不会对生殖系统造成显著危害。日本卫生福利部通过研究指出,正十一烷烃的多种剂量对小鼠及其后代的生殖能力、生殖器官重量和组织病理学没有明显影响,其生殖和发育毒性的 NOAEL 为 300 mg/kg 体重/d。AMORUSO 等^[25]研究发现, C₉~C₁₃ 组成的矿物油溶剂通过呼吸道暴露给试验小鼠,未观察到明显的生殖毒性,这进一步证实了之前的观点; ECHA 的研究则关注了矿物油对怀孕小鼠及其胎儿的发育毒性,结果未发现对母系或胎儿的毒性,这可能表明该矿物注混合物在特定条件下对生殖发育系统相对安全。

2.2.5 致突变作用和致癌作用

根据欧盟食品安全管理局(European Food Safety Authority, EFSA)机构的相关资料:液体石蜡的 Ames 细菌实验结果显示液体石蜡不会引起基因突变。同时,对高黏度和中等黏度的矿物油进行的基因毒性研究也表明,这些矿物油既没有致诱变特性也没有基因毒性^[26]。

但研究表明,某些矿物油成分具有致癌与发育毒性的潜在危险^[18]。如没有烷基化或烷基化程度有限的 3~7 环的 PAC 与致癌和发育毒性相关,可能诱发皮肤上皮肿瘤。特定矿物油,如含长链脂肪族化合物者,是小鼠皮肤肿瘤的激活因子。此外,矿物油的致癌性也与其黏度有关,高黏度及中低黏度矿物油(mineral oil with medium to low viscosity, MVMO)可引起不同类型肿瘤^[27]。进一步研究发现, MVMO 易导致雄性鼠睾丸、垂体等部位肿瘤,而雌性鼠则易患子宫、乳腺等部位肿瘤^[17]。

这些研究共同表明,矿物油的毒性效应高度依赖于多种因素,包括矿物油的成分和种类、暴露方式、剂量以及试验动物的种属及生理状态。因此,在评估矿物油的安全性时,必须综合考虑这些因素,并进行全面的毒理学评估。此外,对于矿物油在不同工业和消费领域的应用,应制定严格的安全标准和监管措施,以确保人类和环境的健康与安全。

3 矿物油污染食品的风险和防控措施

3.1 食品中矿物油污染的风险途径

食品受矿物油污染是一个复杂且广泛存在的问题,涉及从农田到餐桌的整个产业链。矿物油通过多种途径污染食品,包括但不限于以下几种方式^[6,9-10,28-31]:

(1)环境污染

日常生活和工业使用的燃料,如汽油、柴油等,可以通过空气、陆地或生态系统与食品原料接触,导致矿物油污染。这些污染物特别容易富集在脂肪中。

(2)加工过程中的污染

在食品加工过程中,使用的润滑脂和润滑剂可能含有矿物油。如果食品加工人员未遵守卫生操作规范,或者机器部件的润滑油直接接触到原料、中间产品或成品,就可能导致食品污染。此外,矿物油也可能因为不加控制或泄露而污染产品。

(3)食品接触材料

某些食品接触材料,如金属包装材料、塑料、黏合剂和印刷油墨等,可能含有矿物油,这些矿物油可能会迁移到食品中。

(4)食品添加剂和农药

矿物油具有良好的附着性和布展能力,同时具有一定的杀虫杀菌及静电消除作用。一些不合格的添加剂常添加矿物油来充当作为消泡剂、脱模剂、防黏剂和润滑剂等;农药、疫苗以及作为抑坐剂和喷雾油等,可能以矿物油作为基质,达到增效的作用;另外矿物油也曾被用作粮食储备的除静电剂,来防止静电作用引起的粉尘爆炸。矿物油通过这些添加剂和农药污染食品。

(5)饲料污染

矿物油可作为黏合剂,一些不合格饲料的添加剂常以此为辅料,使饲料受到污染,进而影响到食用该饲料的动物产品。

3.2 矿物油污染高风险食品

矿物油污染对食品安全的威胁日益增加,EFSA 曾发布关于食品中矿物油污染的科学意见,指出了几类特别易受矿物油污染的食品^[6,10,29,32]:

(1)比表面积大的干燥食品

这类食品因为具有较大的表面积,更容易吸附和接触到污染源。例如面粉、砂糖、米、咖啡、可可粉、奶粉、香料、面包屑和早餐谷类食品等。

(2)油脂

由于矿物油的亲脂性,油脂类食品特别容易受到污染。这包括棕榈油、橄榄油、葵花籽油、菜籽油等植物油,以及可可脂、奶油等。值得注意的是,由于这些食品的基质复杂,容易吸附矿物油,增加了污染的风险。

(3)婴幼儿食品

婴幼儿食品是一个特殊的类别,由于婴幼儿对污染物的敏感性较高,因此对这类食品中的矿物油污染物的限量要求通常更为严格。

(4)巧克力

巧克力是最早被国外报道受到矿物油污染的食品之

一。由于巧克力的生产过程可能使用到含有矿物油的加工助剂,如某些类型的润滑剂,因此存在污染的风险。

针对这些容易受到矿物油污染的食品,生产和加工过程中需要采取更为严格的控制措施,以减少矿物油污染的风险,确保食品安全。

3.3 矿物油的预防控制措施

矿物油污染是一个多方面的问题,需要企业乃至全社会共同监督和努力,才能确保食品的安全和质量。矿物油的预防控制措施主要包括以下几个方面^[28,33-35]。

3.3.1 加强企业内部管理

改善加工和储存条件,确保食品加工和储存环境的清洁,避免矿物油通过环境污染食品。例如,使用不含矿物油的清洁剂和消毒剂清洁食品接触表面,确保储存容器的清洁和干燥;在食品加工过程中,使用食品级的润滑剂代替矿物油基的润滑剂,以减少矿物油污染的风险。同时,确保润滑剂的使用符合食品安全标准,并且只在必要时使用;优化包装材料,选择不含有矿物油成分的包装材料,特别是对于直接接触食品的包装材料,以防止矿物油迁移至食品中。对于必须使用可能含有矿物油成分的包装材料的情况,应采取措施减少矿物油向食品的迁移;加强供应链管理,确保原材料和添加剂不含有矿物油成分,或者其矿物油含量在安全范围内。这需要对供应商进行严格的评估和监控,确保他们遵守相关的食品安全标准;对食品加工和处理人员进行适当的培训,强调矿物油污染的风险以及如何采取预防措施,包括正确使用和储存润滑剂、清洁剂和包装材料等;定期对食品和加工环境进行矿物油污染的检测和监控,及时发现和处理潜在的污染问题。

3.3.2 加强立法和相关部门监管

国家应加快制定和完善针对食品中矿物油污染的法律法规,明确污染物限量标准、检测方法及违法行为的法律责任,为监管提供坚实的法律基础。建立健全从农田到餐桌的全链条食品安全监管体系,加强对食品生产、加工、运输、销售等环节的监管力度,确保各环节都能符合食品安全标准。加大对食品中矿物油污染检测技术的研发和应用,提高检测的准确性和效率,为监管提供有力的技术支撑。

3.3.3 促进国际合作与交流

加强与各国政府和国际组织间信息合作,共享食品中矿物油污染监测数据、治理经验和技术成果,共同应对跨国食品安全问题。协调贸易法规,推动国际贸易规则的协调统一,减少因各国法规差异导致的贸易壁垒,促进食品国际贸易的顺畅进行。

3.3.4 提升公众意识

加强宣传教育,通过媒体、网络等渠道普及食品安全知识,提高公众对矿物油污染等食品安全问题的认识和防范意识。引导理性消费,倡导健康、理性的消费观念,鼓励消费者选择安全、优质的食品产品。

3.3.5 建立应急响应机制

制定食品安全应急预案,一旦发生食品中矿物油污染等突发事件,能够迅速启动应急响应机制,有效控制事态发展,保障公众健康和社会稳定。

通过这些控制措施的实施,可以有效地减少食品中矿物油污染的风险,保障消费者的健康和安全。

4 食品中矿物油污染的检测

4.1 检测标准依据

针对食品中矿物油污染的检测,目前主流的标准依据有两个:德国的植物油和以植物油为基础的食品中 MOSH 和 MOAH 的在线高效液相色谱-气相色谱-火焰离子化检测器法(high performance liquid chromatography-gas chromatography with flame ionization detection, HPLC-GC-FID)分析测定标准(DIN EN 16995: 2017)和 2024 年推出的分析测定 MOSH 和 MOAH 定量限方法(ISO 20122: 2024)。这两种方法在技术上有一定的迭代关系,主要区别在于定量限(limit of quantitation, LOQ)的设定。这两种方法都是通过皂化、提取、环氧化处理、分离和定量分析等步骤,确保检测结果的准确性和可靠性。

同时,欧盟委员会联合研究中心(European Commission Joint Research Centre, JRC)发布的技术指南(JRC 技术指南)^[36]也提供了食品中矿物油检测详细和全面的指导,特别是在不同基质的定量限方面。指南中提到:分析不同基质时如何决定增加或减少检测步骤,主要取决于基质中油脂的含量,这帮助了实验室根据不同基质的特性进行食品中矿物油检测。

4.2 检测技术

食品中矿物油的检测技术主要依赖于色谱分析方法,特别是气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)技术和液相色谱-质谱联用(liquid chromatography-mass spectrometry, LC-MS)技术^[37]。这些技术能够准确地分析和鉴定食品样品中的矿物油成分,包括 MOSH 和 MOAH。但常规的 LC/GC-MS(定性分析)在分析馏分较大的样品时面临的挑战非常大^[38]。

目前最先进的矿物油分析检测技术--二维气相色谱-飞行时间质谱(comprehensive two-dimensional gas chromatography-time of flight mass spectrometry, GC×GC-TOFMS)通过加两道 GC,能够很好应对这些复杂的馏分鉴定。其通过两个维度的柱子,将不同沸点和极性的馏分两次分离,再结合定量参数,通过飞行质谱 TOFMS 更好地确认污染物来源和数量,也能很好地通过官能团来帮助毒理学的评估。其中藿烷、甾烷、植烷、姥鲛烷如果在图谱中出现,意味着食品受矿物油污染真实存在。聚 α 烯烃(poly alpha olefin, PAO)和聚烯烃低聚饱和烃表示样本可能受到塑料迁移的影响,

同时二者也是合成润滑剂的标记物,意味着运输和加工可能受到矿物油污染。二异丙基萘(diisopropylnaphthalene, DIPN)是合成再生纸的标记物,食品直接接触的包装不允许使用再生纸,如果 DIPN 检测结果呈阳性,代表食品有受油墨矿物油的污染风险^[39]。

另外矿物油的检测是一个复杂的过程,需要专业的设备和技术人员进行操作。此外,矿物油的毒性及其在食品中的允许含量受到严格监管,各国和地区可能有不同的标准和限制。

4.3 检测中的挑战和干扰因素

矿物油分析的天然干扰物质: MOAH 的干扰因素主要是天然存在的不饱和的天然物质,如萜烯(香味物质)、类胡萝卜素等,会对图谱产生非常大的干扰;另外矿物油是非常复杂、庞大的一类物质混合物,需要有非常丰富的处理经验^[38,40]。

数据处理与峰管理:在处理图谱时应非常小心,需熟知必须要保留和剪除的峰。当峰拖尾及图谱差异较大时,判断是否属于正常情况,需要知道如何处理,并且判断是否需要重新前处理样品,是否需要增加/减少称样量。通过核对 MOAH 和 MOSH 的双重图谱,来对比分析出污染物图谱^[41]。

环氧化处理:在预处理时需要环氧化处理去除油脂中烯烃的干扰,但如果处理过度会使烯烃被高度还原,同时 MOAH 也被还原。另外通过活性氧化铝吸附正构烷烃(柱和干扰 MOSH 的“过载”)过度, MOSH 也会减少^[42]。

5 国内外食品中矿物油污染的法规动态

随着食品中矿物油污染问题的日益严重,全球多个国家和地区已经开始制定相关法规并限制食品中矿物油的使用和污染。

5.1 欧盟

2017 年 1 月 17 日,欧盟发布《关于食品和食品接触材料及制品中 MOH 的建议书》(EU) 2017/84,要求监测食品及食品接触材料中的矿物油,并且 2017 及 2018 年期间,各相关方应积极参与监控,检测到矿物油应进一步调查其来源。推动欧盟食品接触法规体系中对矿物油立法,降低食品接触材料带来的矿物油迁移和污染风险^[43]。

2022 年 5 月欧盟植物、动物、食品和饲料常委会(Standing Committee on Plants, Animals, Food and Feed, SC PAFF)发布了关于《新型食品和食物链的毒理学安全-2022/04/21》^[44]从范围和限量两方面加严对食品中 MOAH 的管控,由欧盟成员国执行召回等措施,即日实施。该声明取代了 PAFF《新型食品和食物链的毒理学安全-2020/06/23》关于婴儿配方和后续配方中存在 MOAH 的声明。新发布的欧盟 PAFF《新型食品和食物链的毒理学安全-2022/04/21》中对

食品中 MOAH 的规定从婴幼儿食品扩展到包括婴幼儿食品在内的所有食品类型,并根据食品中脂肪含量规定了不同限量。

2022 年 10 月 19 日,欧盟对该发布内容进行了补充,进一步规范了食品类别,该草案旨在统一欧盟内部对食品中 MOAH 的检测和处理方法。对不同脂肪/油脂含量食品中 MOAH 进行了更详细的设定:低脂肪含量(小于等于 4%脂肪/油)的干食品: 0.5 mg/kg; 脂肪含量较高的食物(大于 4%脂肪/油,小于等于 50%脂肪/油): 1 mg/kg; 脂肪/油和含大于 50%脂肪/油的食物: 2 mg/kg; 根据草案,MOAH 水平高于这些定义的定量限(limit of quantitation, LOQ)的食品应撤出或从市场上移除。这些限制应适用于“销售”的产品,无论 MOAH 的来源如何。

2024 年 6 月 25 日,欧盟发布委员会条例(EU)2024/1756^[45],该条例对 2023 年的(EU)2023/915 号条例进行修正,该条例涉及中国境内某些污染物含量较高的食物,相关产品已重新描述,以反映对二恶英和多氯联苯等污染物最高限量设定的考量。但(EU)2023/915 号条例^[46]中对某些婴儿和儿童产品的多环芳烃最高限量规定存在不一致性,为避免这种不一致性,应区分作为粉末投放市场的产品和作为液体投放市场的产品。

5.2 法 国

2020 年 2 月 10 日,法国颁布关于打击浪费和循环经济的法令 No.2020-105(AGEC 法规)^[47],要求在 2022 年 1 月 1 日禁止在包装材料中使用矿物油,2023 年 1 月 1 日禁止使用含矿物油的油墨印刷商业推广的广告简章和目录函,2025 年 1 月 1 日禁止使用含矿物油的油墨进行公共印刷。

2022 年 5 月 3 日,法国批准发布了 2022 年 4 月 13 日法令(Arrêté du 13 avril 2022)^[48]:规定矿物油禁止用于包装和公众印刷品,此法令已于 2023 年 1 月 1 日生效。要求 2024 年 12 月 31 日前,油墨中的 MOAH 含量应小于等于 1%; 2025 年 1 月 1 日起,油墨中含有 1 至 7 个芳环的 MOAH 含量应小于等于 0.1%,且含有 3 至 7 个芳环的 MOAH 含量应小于等于 1 ppm; 油墨中的 MOSH 含量应小于等于 0.1%。

5.3 瑞 士

2017 年 5 月 1 日,瑞士新食品法附录 10(允许用于印刷油墨的物质及要求)^[49]生效,要求食品接触材料和制品的印刷油墨中的矿物油迁移量应小于 0.01 mg/kg。

5.4 德 国

2021 年 3 月 22 日,世界贸易组织(World Trade Organization, WTO)公布文件编号为 21-2349 的德国草案(G/SPS/N/DEU/12)^[50],旨在限制食品接触再生纸质品中的 MOAH,要求在法规发布 3 年后,食品中 MOAH 的迁移量总和不得超过 0.5 mg/kg 或食品模拟物中 MOAH 的总和不超过 0.15 mg/kg。

5.5 美 国

美国一般公认安全的物质(generally recognized as safe, GRAS)对矿物油的规定^[22,51]: GRN No.71 号白矿物油, CAS 8012-95-1, 100 华氏度下的黏度为 100 cSt ($100 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$),用作马铃薯加工设备的润滑剂,并且矿物油在食品中的残留量不超过 5 mg/kg。

5.6 中 国

2009 年 5 月 27 日,卫生部发布的《食品中可能违法添加的非食用物质和易滥用的食品添加剂品种名单(第三批)》中明确规定,工业用矿物油属于违法添加的非食用物质,禁止在食品生产过程中使用。但根据 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》规定,食品级矿物油可以用作加工助剂使用^[52]。

2016 年 10 月 19 日,原国家卫生计生委制定发布 GB 9685—2016《食品安全国家标准 食品接触材料及制品用添加剂使用标准》,提到矿物油的使用规范^[53]。要求在特定塑料、涂料和涂层、黏合剂、橡胶、纸和纸板中依规定按需使用或限量使用,无残留或迁移量要求,需注意框架法规通用安全要求,迁移到食品中的量不得危害人体健康等。

2024 年 10 月 28 日,国家粮食和储备局发布 GB 44917—2024《食用植物油散装运输卫生要求》,对 2025 年 2 月 1 日起食用植物油散装运输容器基本要求、清洁、维护和管理,运输,记录等进行规定。但未对食用植物油中矿物油进行限量检测要求。

目前,我国对于食品中矿物油法规涉及食品范围还不够全面和整体,目前只能根据个别法律,如食品添加剂和特定食品运输法对相关问题进行要求和管理,缺乏针对食品中矿物油污染的专门性和限量规定,并且对食品中矿物油的监管和检测力度还不够严格。

6 结束语

食品中矿物油污染问题是一个全球性的食品安全挑战,它不仅威胁到公众健康,也对食品行业的信誉和市场秩序造成了严重影响。我国应加强对食品中矿物油污染的立法和管理,建立完善的监管体系和技术标准。同时,食品生产企业也应加强自身的管理和技术改进,确保食品的安全和质量,通过全社会的共同努力,我们有望实现对食品中矿物油污染的有效控制和管理。

参考文献

- [1] 董文祺,李明书.一起矿物油所致食物中毒的调查报告[J].解放军预防医学杂志,1988(4): 30-32.
DONG WQ, LI MS. Investigation report on a case of food poisoning caused by mineral oil [J]. J Prev Med Chin PLA, 1988(4): 30-32.
- [2] 唐承国.一起矿物油引起集体食物中毒的调查与处理[J].中国卫生监督杂志,2000(2): 61-63.

- TANG CG. An investigation and handling of a mass food poisoning caused by mineral oil [J]. *Chin J Health Inspec*, 2000(2): 61–63.
- [3] 赖焜明, 张展秀, 陈乐君, 等. 矿物油中毒 754 例救治体会[J]. 岭南急诊医学杂志, 2000(1): 38.
- LAI ZM, ZHANG ZX, CHEN LJ, *et al.* Treatment experience of 754 cases of mineral oil poisoning [J]. *Lingnan J Emer Med*, 2000(1): 38.
- [4] 新京报. 中储粮回应罐车运输油罐混用: 全系统深入开展专项大排查 [EB/OL]. [2024-07-06]. <https://www.bjnews.com.cn/detail/1720272473129028.html> [2024-12-10].
- Beijing News. Sinograin responded to the mixed use of tank trucks transport oil tanks: The whole system carried out special investigations [EB/OL]. [2024-07-06]. <https://www.bjnews.com.cn/detail/1720272473129028.html> [2024-12-10].
- [5] 新浪网. 油罐车事件背后, 食用油安全的那些隐秘角落 [EB/OL]. [2024-07-14]. https://k.sina.com.cn/article_5705191799_1540e517701901tib0.html [2024-12-10].
- Sina. Behind the tanker incident, the hidden corners where cooking oil is safe [EB/OL]. [2024-07-14]. https://k.sina.com.cn/article_5705191799_1540e517701901tib0.html [2024-12-10].
- [6] European Food Safety Authority (EFSA). Scientific opinion on mineral oil hydrocarbons in food [J]. *EFSA J*, 2012, 10(6): 74–185.
- [7] 刘玲玲, 武彦文, 李冰宁, 等. 固相萃取-大体积进样-气相色谱法定量分析油茶籽油中的矿物油[J]. *分析化学*, 2016, 44(9): 1419–1424.
- LIU LL, WU YW, LI BN, *et al.* Solid phase extraction-mass injection-gas chromatography quantitative analysis of mineral oil in camellia oil [J]. *Chin J Anal Chem*, 2016, 44(9): 1419–1424.
- [8] 杨道远, 肖潇, 武彦文, 等. 婴幼儿辅助食品中矿物油的污染水平及其健康影响评估[J]. *中国食品卫生杂志*, 2022, 34(2): 302–307.
- YANG DY, XIAO X, WU YW, *et al.* Contamination level of mineral oil hydrocarbons in complementary foods and their health impact assessment for infants and young children aged 0–3 years [J]. *Chin J Food Hyg*, 2022, 34(2): 302–307.
- [9] ARCELLA D, BAERT K, BINAGLIA M. Rapid risk assessment on the possible risk for public health due to the contamination of infant formula and follow-on formula by mineral oil aromatic hydrocarbons (MOAH) [J]. *EFSA Suppl Publ*, 2019, 16(11): 1741.
- [10] 李克亚. 食品包装纸中饱和烃矿物油的迁移行为和安全评估[D]. 广州: 暨南大学, 2015.
- LI KY. Migration behavior and safety assessment of mineral oil saturated hydrocarbons (MOSH) in food packaging paper [D]. Guangzhou: Jinan University, 2015.
- [11] 武彦文, 王颖, 李冰宁, 等. 定量分析食品中的矿物油污染物[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(6): 2145–2150.
- WU YW, WANG Y, LI BN, *et al.* Quantitative analysis of mineral oil hydrocarbons in food [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(6): 2145–2150.
- [12] BIEDERMANN M, GROB K. Comprehensive two-dimensional gas chromatography for characterizing mineral oils in foods and distinguishing them from synthetic hydrocarbons [J]. *J Chromatogr A*, 2015, 1375: 146–153.
- [13] GROB K. Toxicological assessment of mineral hydrocarbons in foods: State of present discussions [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(27): 6968–6974.
- [14] BIEDERMANN M, GROB K. How “white” was the mineral oil in the contaminated ukrainian sunflower oils? [J]. *Eur j Lipid Sci Tech*, 2009, 111: 313–319.
- [15] BARP L, KORNAUTH C, WÜGER T, *et al.* Mineral oil in human tissues, part I: Concentrations and molecular mass distributions [J]. *Food Chem Toxicol*, 2014, 72: 312–321.
- [16] POHJANVIRTA R, SELMA M. Aryl hydrocarbon receptor is indispensable for β -naphthoflavone-induced novel food avoidance and may be involved in LiCl-triggered conditioned taste aversion in rats [J]. *Physiol Behav*, 2019, 204: 58–64.
- [17] TRIMMER GW, FREEMAN JJ, PRISTON RA, *et al.* Results of chronic dietary toxicity studies of high viscosity (P₇₀H And P₁₀₀H) white mineral oils in fischer 344 rats [J]. *Toxicol Pathol*, 2004, 32(4): 439–447.
- [18] CARRILLO JC, KAMELIA L, ROMANUKA J, *et al.* Comparison of PAC and MOAH for understanding the carcinogenic and developmental toxicity potential of mineral oils [J]. *Regul Toxicol Pharm*, 2022, 132: 105193.
- [19] GRAY TM, SIMPSON BJ, NICOLICH MJ, *et al.* Assessing the mammalian toxicity of high-boiling petroleum substances under the rubric of the hpv program [J]. *Regul Toxicol Pharm*, 2013, 67(2Suppl): S4–S9.
- [20] KAMELIA L, DE HAAN L, KETELSLEGERS HB, *et al.* *In vitro* prenatal developmental toxicity induced by some petroleum substances is mediated by their 3-to 7-ring PAH constituent with a potential role for the aryl hydrocarbon receptor (AhR) [J]. *Toxicol Letters*, 2019, 315: 64–76.
- [21] ECHA Chemicals Database. White mineral oil (petroleum) (CAS Number 8042-47-5) [EB/OL]. [2024-03-04]. <https://www.echa.europa.eu/web/guest/substance-information/-/substanceinfo/100.029.500> [2024-10-30].
- [22] EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources Added to Food (ANS). Scientific opinion on the safety assessment of medium viscosity white mineral oils with a kinematic viscosity between 8.5–11 mm²/s at 100 °C for the proposed uses as a food additive [EB/OL]. [2013-01-17]. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3073> [2024-12-10].
- [23] REEVES WH, LEE PY, WEINSTEIN JS, *et al.* Induction of autoimmunity by pristane and other naturally occurring hydrocarbons [J]. *Trends Immunol*, 2009, 30(9): 455–464.
- [24] ZHU WH, MENG LS, JIANG CS, *et al.* Induction of toll-like receptor 2 positive antigen-presenting cells in spleen of pristane-induced arthritis in rats [J]. *Mol Bio Rep*, 2012, 39: 3667–3673.
- [25] AMORUSO MA, GAMBLE JF, MCKEE RH, *et al.* Review of the toxicology of mineral spirits [J]. *Int J Toxicol*, 2008, 27(1): 97–165.
- [26] EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources Added to Food (ANS). Scientific opinion on the use of high viscosity white mineral oils as a food additive [EB/OL]. [2009-11-24]. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1387> [2024-12-10].
- [27] SHODA T, TOYODA K, UNEYAMA C, *et al.* Lack of carcinogenicity of medium-viscosity liquid paraffin given in the diet to F344 rats [J]. *Food Chem Toxicol*, 1997, 35(12): 1181–1190.
- [28] 安徽省市场监督管理局. 关于国外奶粉中检出芳香烃矿物油残留物的专家解读 [EB/OL]. [2019-12-11]. <https://amr.ah.gov.cn/public/5248926/117083082.html> [2024-12-10].
- Market Supervision Administration of Anhui Province. Expert interpretation of residues of aromatic hydrocarbon mineral oil detected in foreign milk powder [EB/OL]. [2019-12-11]. <https://amr.ah.gov.cn/public/5248926/117083082.html> [2022-02-20].
- [29] 毛润乾. 基于新标准矿物油农药原药生产的关键技术研究产业化[Z]. 广州: 广东省科学院动物研究所, 2021.
- MAO RQ. Research and industrialization of key technologies for the production of mineral oil pesticide based on new standard [Z]. Guangzhou: Institute of Zoology, Guangdong Academy of Sciences, 2021.
- [30] 丁从阳. 食品接触用包装纸中化学物质的迁移研究及安全评估[D]. 广州: 暨南大学, 2019.
- DING CY. Migration study and safety assessment of chemical substances in food contact packaging paper [D]. Guangzhou: Jinan University, 2019.
- [31] 张书畅. 奶粉和固体饮料中矿物油污染的定量分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- ZHANG SC. Quantitative analysis of mineral oil in milk powder and solid beverages [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020.

- [32] 刘少伟, 阮赞林. 巧克力中令人担忧的矿物油超标[J]. 质量与标准化, 2017(8): 40.
- LIU SW, RUAN ZL. Chocolate contains alarming levels of mineral oil [J]. Qual Stand, 2017(8): 40.
- [33] 钟怀宁, 李丹, 丁晓, 等. 国外食品中矿物油的风险与管控分析[J]. 中国食品安全, 2024(9): 87-91.
- ZHONG HN, LI D, DING X, *et al.* Analysis on risks and control measures for mineral oil in food abroad [J]. Chin Food Saf, 2024(9): 87-91.
- [34] 张冉群. 推进食品安全治理现代化对策研究[J]. 中国物价, 2024(11): 110-115.
- ZHANG RQ. Research on countermeasures to promote the modernization of food safety governance capacity [J]. Chin Price, 2024(11): 110-115.
- [35] 法治日报. 中国愿同各国一道推动食品安全共治共享[EB/OL]. [2024-11-11]. http://www.legaldaily.com.cn/international/content/2024-11/11/content_9082958.html [2024-12-10].
- Legal Daily. China is ready to work with other countries to promote joint governance and sharing of food safety [EB/OL]. [2024-11-11]. http://www.legaldaily.com.cn/international/content/2024-11/11/content_9082958.html [2024-12-10].
- [36] BRATINOVA S, HOEKSTRA E. Guidance on sampling, analysis and data reporting for the monitoring of mineral oil hydrocarbons in food and food contact materials-2nd Edition [M]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023.
- [37] 谢尧卿. 不同脂肪含量食品中矿物油污染分析方法的研究与应用[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- XIE YQ. Analysis methods for the determination of mineral oil contaminants in foods with different fat content [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020.
- [38] 简朴. 食用油脂中矿物油污染物的高灵敏检测方法的建立与应用[D]. 北京: 北京林业大学, 2022.
- JIAN P. Establishment and application of highly sensitive methods for the determination of mineral oil hydrocarbon contaminants in edible oils and fats [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2022.
- [39] LOMMATZSCH M, ECKARDT M, HOLZAPFEL J, *et al.* Advanced separation of mineral oil aromatic hydrocarbons by number of aromatic rings using donor-acceptor-complex chromatography to extend on-line coupled liquid chromatography-gas chromatography [J]. J Chromatogr A, 2024, 1715: 46400.
- [40] BIEDERMANN M, FISELIER K, GROB K. Aromatic hydrocarbons of mineral oil origin in foods: Method for determining the total concentration and first results [J]. J Agric Food Chem, 2009, 57: 8711-8721.
- [41] 姜树. 食用油脂与含油调味品中矿物油污染物的测定及来源分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2018.
- JIANG S. Determination and sources analysis of mineral oil hydrocarbons (MOH) in edible oil and oily seasoning [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2018.
- [42] 黄华, 武彦文, 李冰宁, 等. 食用植物油中矿物油污染物的分析进展[J]. 中国油脂, 2018, 43(7): 97-101.
- HUANG H, WU YW, LI BN, *et al.* Progress in analysis of mineral oil contaminants in edible vegetable oils [J]. China Oils Fats, 2018, 43(7): 97-101.
- [43] Commission Recommendation (EU). On the monitoring of mineral oil hydrocarbons in food and in materials and articles intended to come into contact with food [EB/OL]. [2017-01-17]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017H0084> [2024-12-10].
- [44] European Commission: Health and Food Safety Directorate General. Standing committee on plants, animals, food and feed section novel food and toxicological safety of the food chain 21 april [Z]. 2022.
- [45] Commission Recommendation (EU). Amending and correcting Regulation (EU) 2023/915 on maximum levels for certain contaminants in food [EB/OL]. [2024-06-26]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32024R1756> [2024-12-10].
- [46] Commission Recommendation (EU). Commission Recommendation 2023/915 of 25 April 2023 [Z].
- [47] Journal officiel de la République française (JORF). LOI n 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire. (1) [Z].
- [48] Ministère De La Transition Écologique. Arrêté du 13 avril 2022 précisant les substances contenues dans les huiles minérales dont l'utilisation est interdite sur les emballages et pour les impressions à destination du public [Z]. J Officiel De La Répub Fran.
- [49] Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV). Stellungnahme des BLV zur formativen Evaluation des neuen Lebensmittel-rechts [EB/OL]. [2016-12-16]. <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/dokumentation/nsb-news-list.msg-id-64989.html> [2024-10-30].
- [50] World Trade Organization (WTO). Committee on sanitary and phytosanitary measures. materials and articles in contact with food (FCM) made from recycled [EB/OL]. [2021-03-22]. <https://docs.wto.org/dol2fe/Pages/SS/directdoc.aspx?filename=q:/G/SPS/NDEU12.pdf> [2024-10-30].
- [51] 周阳. 环烷基润滑油基础油生产高档白油的研究[D]. 北京: 中国石油大学, 2021.
- ZHOU Y. Research on the production of high grade white oil from naphthenic base oil [D]. Beijing: China University of Petroleum, 2021.
- [52] 钟子微. 奶粉中 MOSH 和 大米中 MOAH 污染的定量分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2018.
- ZHONG ZW. Quantitative analysis of MOSH in powdered milk and MOAH in rice [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2018.
- [53] 杨颖. 食品接触材料的安全性研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2022.
- YANG X. Safety research on food contact materials [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2022.

(责任编辑: 安香玉 于梦娇)

作者简介



李 丽, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品加工与安全。
E-mail: lili@sanmarkltd.com



李燕杰, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为油脂新资源及油脂生产工艺。
E-mail: liyanjie@sanmarkltd.com