

化妆品中重金属对人体健康影响的研究与发展

刘芳¹ (刘卓依), Vicky, Zlachevska², 朱怀杰^{1, 3}¹河南卓依文化传播有限公司生物科技部, 1650451367@qq.com;²Heinrich Heine University Düsseldorf, Cologne, German;³Corresponding Author: 郑州大学第二附属医院, Columbia University, New York.US. Jacksun Easy Biotech Inc. NYC. USA, jacksun689@qq.com

摘要: 化妆品作为日常消费品, 其安全性关乎广大消费者的健康权益。近年来, 化妆品中重金属污染问题持续引发关注。本文系统梳理了化妆品中重金属的来源、健康危害机制、检测技术及风险评估方法的研究现状。研究表明, 重金属可通过原料带入或生产污染途径进入化妆品, 经皮肤吸收后对人体产生神经毒性、肾毒性、致癌性等多系统损害。当前, ICP-MS 等高灵敏分析技术已实现痕量重金属的精准检测, 而基于暴露剂量的健康风险评估模型正取代传统的总量比较法, 成为更科学的评价工具。然而, 各国监管标准不一、暴露评估参数本土化不足、纳米材料安全性评价滞后等问题仍然突出。未来研究应着力于建立全球统一的监管框架、发展基于生理药代动力学模型的精准风险评估方法, 并加强对新型纳米材料长期健康效应的系统评价。

[刘芳 (刘卓依), Vicky, Zlachevska, 朱怀杰. 化妆品中重金属对人体健康影响的研究与发展. *Academ Arena* 2026;18(8):91-93]. ISSN 1553-992X (print); ISSN 2158-771X (online). <http://www.sciencepub.net/academia>. 06. doi:[10.7537/marsaaj180826.06](https://doi.org/10.7537/marsaaj180826.06)

关键词: 化妆品; 重金属; 健康风险; 暴露评估; 检测技术; 重金属与健康

1. 引言:

化妆品已成为现代生活中不可或可缺少的消费品, 其种类涵盖护肤品、彩妆、发用产品等多个门类。然而, 在追求美白、遮盖、持妆等功效的同时, 消费者可能无意中接触到铅、镉、汞、砷、铬、镍等重金属, 这些物质可能通过皮肤吸收进入人体, 带来潜在的健康风险。

重金属在化妆品中的存在有两种情形: 一是作为原料中的有意添加成分, 如某些无机染料和紫外线过滤剂; 二是生产过程中引入的杂质或污染物。近年来, 多项调查研究显示, 全球多个市场的化妆品中检出重金属, 部分产品甚至超出监管限值。有研究对 113 种化妆品进行分析后发现, 50.4 % 的产品至少违反了一项国际杂质标准, 其中色素丰富的化妆品和黑色海娜产品中的金属浓度最高。

面对这一“美丽背后的隐忧”, 学术界和监管机构围绕重金属的检测方法, 健康影响和风险管理展开了大量研究。本文旨在从来源与健康危害, 检测分析方法, 风险评估框架以及监管现状四个维度, 系统综述化妆品中重金属对人体健康影响的研究进展, 并展望未来的研究方向, 以期化妆品安全评价和风险管控提供参考。

2. 化妆品中重金属的来源与健康危害:

2.1. 重金属的来源与分布特征

化妆品中重金属的来源可归为两类: 有意添加和无意带入, 有意添加主要指某些金属化合物作为功能性成分使用, 例如, 锌和钛的纳米颗粒用作物理防晒剂, 某些金属氧化物用作色素和染料。无意带入则更为常见, 矿物原料本身含有痕量金属, 生产设备磨损、包装材料迁移也可能导致污染。

从产品类型来看, 不同类别化妆品的重金属污染特征差异显著。研究表明, 含色素较多的产品 (如散粉、腮红、眼影) 和传统配方产品 (如海娜染料, 眼线粉) 中的金属浓度最高。一项基于 ICP-MS 分析的调查显示, 面部散粉的系统暴露剂量高达 35.29 mg/kg bw/day, 安全边际 (MoS) 小于 1, 累积危害指数高达约 140000。相比之下, 唇膏和护肤霜的暴露贡献相对较小。这一差异与产品的使用部位、频率和停留时间密切相关——面部大面积使用且长时间驻留的产品, 其暴露风险显著高于局部、短时使用的产品。

2.2. 化妆品中重金属是任何危害人类健康的:

重金属对人体健康的危害具有多器官, 多靶点的特征。铅主要损害神经系统和造血系统, 儿童对铅的神经发育毒性尤为敏感; 镉具有肾毒性和骨毒性, 可在体内蓄积数十年; 汞对肾脏和神经系统有严重损害; 砷被归为人类致癌物, 长期暴露与皮肤癌、膀胱癌等密切相关。

经皮肤吸收是化妆品中重金属进入人体的主要途径,但吸收效率受多种因素影响,包括皮肤的年龄,解剖部位,分子体积,蛋白质反应性以及配方基质。值得注意的是,皮肤屏障并非绝对安全,脂溶性较强的金属化合物或纳米颗粒可能通过毛囊和汗腺途径被吸收。有综述指出,当慢性暴露超过安全阈值时,化妆品中的金属/类金属可能增加癌症,神经系统疾病,器官衰竭和胎儿发育异常的风险。

汞中毒在化妆品领域具有特殊警示意义。近年来,非职业性汞暴露日益增多,其中化妆品

(尤其是美白祛斑产品)是重要来源。汞中毒可损害心脏,肝脏,肾脏等主要器官,其机制涉及氧化应激诱导,线粒体功能障碍和酶活性抑制。

3. 化妆品中重金属检测分析方法研究与进展:

3.1. 主流检测技术:

化妆品中重金属的准确测定是风险评估的基础。目前常用的分析方法包括原子吸收光谱法

(AAS)、石墨炉原子吸收光谱法(GFAAS),原子荧光光谱法(AFS)、电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)和电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)。各方法的性能差异主要体现在灵敏度、检测通量和抗干扰能力上。

AAS法成本较低,操作简便,但通常只能进行单元素分析,且灵敏度难以满足痕量检测需求。GFAAS法通过石墨管高温原子化显著改善了检出限,特别适用于痕量铅、镉的分析,但分析速度较慢。ICP-OES法可同时测定多种元素,动态范围宽,但对部分痕量元素的灵敏度仍不及ICP-MS。ICP-MS法凭借高灵敏度,多元素同时测定和同位素分析能力,已成为化妆品重金属分析的“金标准”。

3.2. ICP-MS的技术优势与挑战:

ICP-MS法的核心优势在于:检出极限低(可达ng/L级),线性动态范围宽(可达9个数量级),可同时测定数十种元素,且可提供同位素丰度信息。这些特点使其尤其适合化妆品中多元素筛查和痕量超标元素的确认分析。然而,ICP-MS在实际应用中仍面临若干挑战。质谱干扰是主要问题,包括多原子离子干扰,氧化物干扰,双电荷离子干扰和同量异位素干扰。非质谱干扰则主要源于基体效应和物理效应,如高盐样品引起的信号漂移和堵塞。针对这些干扰,研究者发展了碰撞/反应池技术、数学校正(如干扰方程)和基体匹配标准品等策略。近年来,新型样品前处理技术(如微波消解、固相萃取)与ICP-MS联用,进一步提升了分析效率和准确性。

4. 化妆品对健康风险的评估框架与关键参数:

4.1. 从浓度比较到暴露评估

长期以来,化妆品安全评价主要采用“浓度-限值比较法”,检测产品中重金属含量是否超出法规规定的最大允许浓度。然而,这种方法存在明显局限:它无法反映产品实际使用条件下的暴露水平,忽视了使用频率、用量、部位等关键因素。

近年来,基于暴露剂量的健康风险评估模型逐渐成为主流。这类方法通过计算系统性暴露剂量(SED),进而推导安全边际(MoS),危害商值(HQ),危害指数(HI)和终生癌症风险

(LCR)等毒理学指标。其中,MoS反映实际暴露水平与未观察到有害作用水平(NOAEL)之间的安全距离,通常要求 $MoS > 100$ 才被认为安全;HI用于评估多种金属的非致癌联合效应, $HI < 1$ 表示可接受;LCR则量化癌症风险,美国环保署通常以 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 作为可接受范围。

4.2. SED的计算模型:

系统性暴露剂量(SED)的计算公式为:

$$SED = (C_s \times AA \times SSA \times RF \times F \times BF) / BW \times 10^{-3};$$

其中, C_s 为产品中金属浓度(mg/kg), AA 为每日产品使用量(g/day), SSA 为施用面积(cm^2), RF 为驻留因子(驻留型产品取1), F 为日使用频率, BF 为生物可及性因子, BW 为平均体重(kg)。

这一模型的关键参数(如 AA 、 SSA 、 F)直接影响评估结果,但目前多数研究采用国际通用默认值,缺乏基于本土消费行为的实测数据,这是未来需要完善的方向。例如,有研究使用面霜用量0.51 g/day、使用面积565 cm^2 、日使用频率2次的参数评估面部产品风险,这些数值是否适用于不同国家和人群,尚需验证。

5. 化妆品中重金属的监管现状与发展趋势:

5.1. 各国标准差异:

当前,各国对化妆品中重金属的监管要求存在显著差异,这种不一致性给跨国企业和消费者带来困扰。欧盟禁止有意添加重金属,仅容许技术上不可避免的痕量残留;美国对眼部产品汞的限量为65 mg/kg,而加利福尼亚州第65号提案要求唇部产品铅 ≤ 5 mg/kg、其他产品铅 ≤ 10 mg/kg。中国《化妆品安全技术规范》(2015年版)对多种有害元素作出明确限量,但具体限值与其他国家和地区不尽相同。有系统综述指出,“各国法规和允许限值存在显著差异,是化妆品行业面临的重大挑战”,亟需推动限量标准的国际化协调。

5.2. 未来发展方向:

基于对研究现状的分析,未来研究可在以下方向深入:

第一，建立本土化的暴露评估参数体系。目前 SED 计算中的使用量、频率、面积等参数多参考欧美人群数据，亟需开展基于中国消费者使用习惯的大规模调查，为精准风险评估提供数据基础。

第二，发展非动物替代毒理学评价方法。随着动物实验限制趋严，基于细胞模型、器官芯片和计算机模拟 (in silico) 的毒性预测方法将成为重要发展方向。

第三，关注纳米材料的安全性。纳米氧化锌、纳米二氧化钛等广泛用于防晒产品，但其经皮吸收，体内分布和长期健康效应尚不明确。如何评价纳米形态金属的安全性，是亟待解决的新课题。

第四，探索多途径联合暴露的综合风险评价。消费者可能同时使用多种产品，单一产品风险评估可能低估实际暴露负荷。累积暴露和联合毒性效应评价需要更复杂的模型和更充分的数据支撑。

6. 结束语：

化妆品中重金属对人体健康的影响是一个兼具科学复杂性和公共重要性的议题。过去十余年间，检测技术从单元素原子吸收发展到多元素同步分析的 ICP-MS，风险评估从简单的浓度比较演进到基于暴露剂量和毒理学指标的综合评价，研究范式的进步为消费者保护提供了更强有力的科学支撑。然而，监管标准的碎片化，暴露参数的本土化，缺失以及新型材料安全性数据的不足，仍是制约精准风险评价的瓶颈。未来，跨学科协作和全球监管协调将有助于构建更安全，更科学的化妆品安全管理体系——让美丽不再以健康为代价。

参考文献

1. 李世叶, 刘艳, 李毅凡, 等. 新型方法检测化妆品中的“属”离子[J]. 当代化工研究, 2025(14): 48-50.

2. Khorshed M A, Ghuniem M M, Mahmoud M A A, et al. Multi-metric health risk assessment of heavy metal contamination in cosmetics: A comparative analysis of makeup, henna and skin creams[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2026.

3. Ahmed M, Sohail A, Maryam, et al. Human Exposure to Metal(oids) in Cosmetics: An Insightful Review of Sample Preparation,

Analytical Techniques, and Human Health Implications[J]. Journal of Chemistry, 2026, 2026: 1.

4. Gyamfi O, Aboko J, Ankaong E, et al. A systematic review of heavy metals contamination in cosmetics[J]. 2024.

5. Jiang S Q, et al. Literature review of the potential harm and mechanisms of mercury poisoning related to cosmetics[J]. Am J Transl Res, 2024, 16(10): 6064-6071.

6. 化妆品中重金属国内外限量要求[J/OL]. 嘉峪检测网, 2026.

7. 徐萌萌. ICP-MS 测定化妆品重金属及有害元素的研究现状[J]. 实验室检测, 2025(23).

8. Jitareanu A, Trifan A, Caba I C, et al. An Overview of Heavy Metals in Cosmetic Products and Their Toxicological Impact[J]. Applied Sciences, 2025.

9. Determination of potentially toxic elements in selected facial cosmetics sold in Kano metropolis and their health risk assessment[J]. Discover Chemistry, 2026.

08/22/2026