

# 毒物检测与中毒诊治相关的几个问题

刘杰 邱泽武

中国人民解放军总医院海南医院, 三亚 572013

通信作者: 邱泽武, Email: qiuzw828@163.com

基金项目: 海南省自然科学基金面上项目(823MS165); 海南省临床医学中心建设项目资助

DOI: 10.3760/cma.j.cn114656-20260227-00176

急性中毒一直是威胁公众健康的重要公共卫生问题。随着化学工业的快速发展、药物种类的不断增加以及社会心理压力的变化, 急性中毒的发病率呈上升趋势。流行病学数据显示, 我国急性中毒患者主要集中于工作年龄人群(30~59岁), 农药、药物和酒精是最常见的致毒物质, 其中农药中毒病死率最高, 且多为蓄意自杀所致<sup>[1]</sup>。毒物检测作为中毒诊治的核心环节, 是明确诊断、指导治疗、评估预后的关键依据。在当前临床实践中, 面临毒物检测技术适配性、结果解读局限性、诊治流程衔接不顺畅等诸多难题。本文结合最新研究进展、临床共识和指南, 以及作者长期诊治中毒性疾病的临床实践<sup>[2-4]</sup>, 聚焦毒物检测与中毒诊治的关键问题进行探讨, 为临床救治工作提供参考。

## 1 毒物检测技术的临床应用与局限性

### 1.1 常用毒物检测技术的适配场景与选择策略

临床常用的毒物检测技术包括免疫分析法、色谱法、质谱法及快速检测试剂盒等, 各类技术在检测速度、灵敏度、特异度、检测范围及成本方面各具优势与短板, 需结合临床场景合理选择<sup>[5]</sup>。免疫分析法凭借快速、简便、低成本的特点, 适用于急诊筛查阶段, 可对有机磷、百草枯、吗啡类等常见毒物进行定性检测, 但存在交叉反应导致的假阳性风险, 且检测谱较窄, 无法满足复杂混合中毒的筛查需求。

近年来, 色谱-质谱联用技术(GC-MS、LC-MS/MS)在毒物检测领域的应用日趋广泛, 可实现数百种药物与毒物的同步高通量筛查, 显著提高不明原因中毒的检出率与诊断效率。高分辨质谱技术(high-resolution mass spectrometry, HRMS)已发展成为毒物分析实验室的确证“金标准”。以液相色谱-四极杆飞行时间质谱(LC-QTOF-MS)

为代表的高分辨质谱技术, 在未知毒物非靶向筛查及复杂中毒诊断中发挥着不可替代的核心作用。其可对样本中数千种化合物进行无偏向性广谱分析, 尤其适用于新型精神活性物质中毒、不明原因昏迷及疑难中毒的病因溯源, 显著提升毒物检测的灵敏度与特异度, 为临床精准诊断与个体化救治提供了更为可靠的实验室依据<sup>[6-8]</sup>。

但该技术操作复杂、耗时较长(通常需数小时)、设备成本昂贵, 对实验室条件及操作人员专业能力要求较高, 难以在基层医院及急诊快速救治中广泛应用。快速检测试剂盒(如胶体金法)操作简便、无需专业设备, 可在床旁快速获得结果, 适用于基层医疗机构及现场急救, 但检测精度较低, 仅能作为初步筛查手段, 很难作为确诊依据。

在临床实践中, 应建立分层检测策略: 急诊阶段优先采用快速筛查技术及免疫分析法进行初步筛查, 提示是否存在常见毒物暴露可能; 对于筛查阳性、疑似混合中毒或病因不明的危重患者, 应及时送检至有色谱-质谱联用检测能力的实验室, 开展精准定性与定量检测, 以明确毒物种类、测定浓度、排除假阳性, 为诊疗方案调整、解毒药物使用及预后评估提供可靠依据。临床使用的动脉血气分析仪, 添加专用检测软件后, 可同步检测碳氧血红蛋白/高铁血红蛋白, 快速辅助诊断一氧化碳中毒、苯的硝基类化合物中毒。

### 1.2 毒物检测结果的临床解读难点与应对思路

毒物检测结果的正确解读是衔接实验室检测与临床诊疗的关键环节, 需紧密结合患者病史、临床表现、中毒暴露时间、标本类型及采样检测时机进行综合研判, 杜绝单纯依赖检测数值而造成误诊与误治<sup>[9]</sup>。首先, 应重点关注检测结果与临床表型

的一致性：若检测结果阳性，但患者缺乏相应中毒临床表现，需警惕标本污染、既往毒物暴露残留或免疫分析交叉反应等因素所致假阳性结果。

2017 年 3 月，笔者参与处置某市某幼儿园群体中毒事件，经流行病学调查分析、病原学检测及临床症状综合研判，明确该事件为大肠杆菌污染引发的食源性中毒；期间，某患儿家长携带患儿标本至某医院行毒物检测，结果提示溴敌隆阳性；受此影响，其他患儿家长亦纷纷携带患儿标本前往检测，最终 115 例送检标本中，又检出 10 例溴敌隆阳性病例。然而，上述溴敌隆阳性患儿均缺乏溴敌隆中毒相应的临床表现，且凝血功能指标无异常，临床医生却仍对其实施了抗毒药物治疗，最终导致该起群体事件被误判为“双重病因”，治疗方向出现偏差，整个事件处置工作陷入混乱。反之，若患者临床表现典型，但毒物检测结果呈阴性，需高度警惕以下几种情况：检测技术存在局限性（如检测方法未覆盖目标毒物）、中毒时间过长（体内毒物已完全代谢清除）或标本采集不当（如未采集毒物浓度最高的标本类型）。此类情形在临床上比较常见，尤其在群体中毒事件处置过程中，需格外谨慎；即使无明确的毒物检测阳性结果，只要存在器官损害的客观证据，亦应及时做出中毒的临床诊断，避免因过度依赖检测结果而延误诊疗。

其次，应重视毒物浓度与病情严重程度关联性<sup>[10]</sup>：部分毒物（如百草枯、乙醇、甲醇、乙二醇）的血药浓度与中毒临床表现、疾病预后直接相关，可作为判断病情严重程度、指导治疗方案调整的重要实验室依据；而大多数毒物缺乏明确的浓度—效应关系，需结合患者年龄、基础疾病、中毒途径（口服、吸入、皮肤接触）及救治及时性等多方面因素，综合评估病情严重程度及预后。此外，还需重视毒物代谢产物的检测<sup>[11]</sup>：部分毒物进入机体后快速代谢，体内原形毒物浓度较低，易导致漏检，检测其特征性代谢产物可显著提高确诊率，如芥子气中毒可检测其代谢产物芥子亚砷，有机磷中毒检测乙酰胆碱酯酶活性、氰化物中毒检测硫氰酸盐浓度。

针对上述问题，提出以下优化应对思路：建立“检测—临床—病史”三方联动的毒物检测结果解读机制，由检验科医师与中毒救治专科医师协同判定，结合检测数据、临床表型及病史信息综合分析，避免单一维度解读导致误判；加强对临床医师的毒物检测相关知识培训，使其熟练掌握不同检测技术

的适用范围、局限性及结果解读核心要点，提升临床研判能力；规范标本采集及送检流程，明确不同毒物检测的最佳标本类型（如血液、尿液、呕吐物、胃液等）及送检时限，确保检测结果的准确性与时效性；对于重金属毒物（如铅、汞、铊），需针对性采集血液、毛发等标本，其中毛发标本可有效反映机体对该类毒物的长期暴露情况，为病因溯源及病情评估提供补充依据。

## 2 中毒诊治流程的优化与关键节点把控

### 2.1 急诊中毒的快速评估与初始干预要点

中毒患者的急诊救治需严格遵循“先救命、后诊断”的核心原则，优先快速评估患者生命体征、气道通畅性、呼吸及循环功能，第一时间开展初始急救干预，为后续毒物检测与精准诊疗争取宝贵时间。初始评估的核心要点的是判断患者是否存在危及生命的危急重症表现（如呼吸衰竭、循环休克、意识障碍、惊厥抽搐），并立即采取针对性急救措施：维持气道通畅，必要时行气管插管、机械通气支持；快速建立静脉通路，通过补液复苏纠正休克，维持机体水电解质及酸碱平衡；针对惊厥抽搐患者及时给予地西泮止痉，针对有机磷中毒患者早期给予阿托品、胆碱酯酶复能剂等特效解毒剂干预。

在实施初始急救干预的同时，需同步快速采集患者相关病史信息，重点包括毒物暴露史（明确毒物名称、暴露剂量、暴露时间及暴露途径）、患者既往基础疾病史、中毒相关症状出现时间及病情进展特点，为后续毒物检测方案制定及治疗策略调整提供可靠线索。对于无法明确毒物暴露史的患者，需结合其临床症状、体征及流行病学史，依据临床常见毒性综合征特点，初步判定可能的毒物类型：如出现针尖样瞳孔、意识障碍、呼吸抑制等表现时，需考虑阿片类毒物中毒；出现口唇发绀、呼吸困难等症状时，需警惕氰化物、一氧化碳中毒；出现痛觉过敏、脱发、米氏纹等特征性表现时，应警惕铊中毒可能。对于有特效解毒剂的毒物中毒，在严密监护患者生命体征的前提下，尽早实施抗毒药物试验性治疗，无需等待毒物检测结果；待毒物检测结果明确后，再及时优化调整诊疗方案，确保治疗的针对性与安全性。

### 2.2 特效解毒剂的合理应用与个体化治疗

特效解毒剂是中毒治疗的核心手段，但其应用需严格遵循适应证、给药剂量及治疗疗程，避免药

物滥用或用药时机延误。部分毒物中毒存在明确的特效解毒剂,如甲醇中毒可选用乙醇或甲吡唑拮抗;氰化物中毒采用亚硝酸盐联合硫代硫酸钠解毒;重金属中毒可使用螯合剂(依地酸钙钠、二巯基丁二酸钠)驱排重金属离子。临床应用过程中,需结合毒物检测结果、中毒发生时间及患者的临床病情严重程度动态调整解毒剂剂量,同时严密监测患者的治疗反应,及时识别并处理药物不良反应,如阿托品过量引发的烦躁不安、高热、心动过速、呼吸衰竭等。笔者曾参与一起急性群体性甲胺磷中毒事件的应急救援,发现同批在该饭店就餐的中毒患者,于同一医院不同病区接受治疗时,阿托品的使用剂量差异显著,范围为 72~14 325 mg;最终救治结果显示,7 例死亡患者集中于同一病区,缘于实施了无差别化的阿托品治疗方案,提示死亡患者与超大剂量使用阿托品存在密切关联<sup>[12]</sup>。

目前临床已知毒物种类繁多,而拥有特效解毒剂的毒物占比极低,因此及时、规范的对症支持治疗成为中毒救治的核心举措,其中胃肠道及血液毒物清除手段尤为关键,主要包括洗胃、活性炭吸附、血液净化等。洗胃的最佳实施时间窗为中毒后 6 h 内,对于口服腐蚀性毒物、挥发性毒物的患者需谨慎操作,避免洗胃操作加重消化道黏膜损伤,或引发毒物误吸导致吸入性肺炎;活性炭可有效吸附胃肠道内未被吸收的毒物,适用于绝大多数口服中毒患者,但对重金属、氰化物等类型毒物的吸附效果欠佳;血液净化技术(如血液透析、血液灌流、血浆置换等)能快速清除血中游离状态的毒物,主要适用于重度中毒、毒物体内代谢缓慢或合并严重脏器并发症的患者,临床应用时需严格把控适应证与治疗时机<sup>[13-15]</sup>。

个体化治疗实施要点如下:需结合患者年龄、体重、基础疾病及中毒严重程度制定个体化诊疗方案;动态监测患者生命体征及肝肾功能、电解质、毒物浓度等实验室指标,根据监测结果及时调整治疗措施;高度重视多学科协作模式的应用<sup>[16-18]</sup>,针对混合中毒、合并多器官功能衰竭等复杂中毒患者,联合急诊科、中毒救治科、重症医学科、临床药学等学科制定综合救治方案。对于各类中毒所致的危重症患者,需依据其具体病情,及时采用血液净化、体外膜氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)、高流量氧疗(high-flow nasal cannula oxygen therapy, HFNC)、主动脉内球囊反搏(intra-

aortic ballon pump, IABP)/静脉-动脉体外膜氧合(V-A ECMO)、肺移植等危重症救治先进技术。此类技术在重症中毒性疾病救治中的应用价值日趋凸显,对提升中毒性疾病救治成功率、改善中毒患者临床预后发挥着决定性作用。

### 3 特殊人群与特殊类型中毒的诊治难点

#### 3.1 儿童、老年人及孕妇中毒的诊治特点

儿童中毒以误服为主要诱因,具有相对毒物暴露剂量偏高、病情进展迅猛、临床表现缺乏特异性等临床特点。因儿童肝肾功能尚未发育成熟,毒物代谢清除能力显著较弱,易引发多器官功能损伤,且对解毒剂剂量的耐受性低、敏感性高,临床用药要严格依据年龄、体重精准计算给药剂量。

老年人中毒多与基础疾病繁杂、联合用药种类多(易发生药物过量或药物间相互作用)、机体反应能力减退相关<sup>[19]</sup>,其中毒临床表现常被其基础疾病掩盖,易延误诊断,且预后较差;治疗过程中需兼顾基础疾病的管控,合理选择治疗手段,避免诊疗措施加重老年患者本就脆弱的脏器功能负担。

孕妇中毒不仅直接危及母体生命健康,还可通过胎盘屏障影响胎儿正常发育,易导致胎儿畸形、流产、早产等不良妊娠结局。临床救治中需全面权衡解毒剂及各项治疗措施对母体与胎儿的双重影响,优先选用经临床验证对胎儿相对安全的药物及治疗方案,规避可能造成胎儿损伤的诊疗手段(如部分血液净化技术、高剂量解毒剂等);同时需强化胎儿宫内监护,动态评估胎儿生长发育情况,保持与患者家属充分沟通并履行告知,结合母体病情严重程度、胎儿宫内状况等综合研判,必要时在母体救治与胎儿保护间做出科学抉择。

#### 3.2 混合中毒与未知毒物中毒的诊治策略

混合中毒是指两种及以上毒物所致的中毒类型,在临床中较为多见,主要因误服混合毒剂、自杀时联用多种药物或意外接触多种毒物引发。其临床表现具有高度复杂性,多为不同毒物的中毒症状叠加出现,且毒物间易存在协同毒性作用,进一步加重病情严重程度。临床诊治的核心难点集中于明确全部涉毒种类、甄别各毒物对病情的贡献度及制定个体化联合救治方案。临床处置策略为:优先采用液相色谱-串联质谱(LC-MS/MS)等广谱毒物检测技术,精准明确涉毒种类与浓度;结合不同毒物的毒性特征、作用机制及患者实际临床表现,遵

循“先重后轻、先救命后对症”原则，优先处置毒性强、可快速危及生命的毒物；强化全身对症支持治疗，积极维护心、肝、肾、呼吸等重要脏器功能，预防并阻断多器官功能衰竭的发生与进展。

未知毒物中毒是指无法明确毒物暴露史，仅依靠临床表现推断的中毒类型，诊治难点在于病因诊断困难，易导致治疗延误。策略：详细采集病史及流行病学史，结合患者症状、体征初步推断毒物类别。开展广谱毒物筛查，同时动态监测患者病情及实验室指标，根据病情变化调整检测方向。2025 年，笔者会诊 2 例 10 岁女性，先后出现头晕乏力、视物模糊、声音嘶哑、言辞不清，继而呼吸困难，其中 1 例突发呼吸心搏骤停，立即心肺复苏，呼吸机辅助通气。根据其发病特点及流行病学资料，高度怀疑食源性肉毒毒素中毒<sup>[2]</sup>，后期在 2 例患者的血中均查到肉毒毒素，均实施了呼吸机辅助，同时给予肉毒抗毒素及综合支持治疗，先后治愈出院。同年，1 例 11 岁的女孩，因腿痛、无力住院，患者进行了常规检测和部分特殊检查，仍未获阳性结果；住院中患者视力障碍明显伴头发脱落，怀疑中毒行毒检提示血铊浓度异常，及时采取了普鲁士蓝联合血液灌流和积极对症支持治疗<sup>[20]</sup>。因患者痛觉过敏不明显、脱发时间显著滞后，与常见急性铊中毒临床表现有差异，进一步实施多方比对毒物检测，均证实该患者体内的铊值异常，患者父母的检测值无异常。对患者的头发进行分段检测，证实患者反复接触铊毒已一年多，此线索依据为后期破案提供了详实的证据。

#### 4 毒物检测与中毒诊治的发展趋势与展望

随着检验医学与急诊医学的快速发展，毒物检测<sup>[8,21]</sup>技术正朝着快速化、精准化、便携化方向发展。一方面，快速检测技术不断升级，如便携式质谱仪、量子点免疫传感器等技术的研发与应用，可实现床旁快速精准检测，缩短检测时间，为急诊救治提供及时支持；另一方面，多组学技术（基因组学、转录组学、代谢组学）在中毒诊治中的应用，可深入揭示毒物对机体的损伤机制，为个体化治疗及预后评估提供分子层面的依据。

在诊治模式上，多学科协作已成为中毒救治的主流模式，通过急诊科、中毒救治科、检验科、药剂科、重症医学科等多学科协同，实现毒物检测、诊断、治疗与康复全流程规范化管理。随着人工智

能（artificial intelligence, AI）与临床大数据、机器学习的深度融合，其在中毒快速识别、病情严重程度评估、精准用药辅助决策、中毒大数据质控和远程救治支持等方面的应用价值日益突出<sup>[22-25]</sup>；依托“AI+ 上级专家”联合模式，可有效弥补基层及偏远地区中毒专科匮乏、救治经验不足等问题，推动区域中毒救治同质化；现有临床研究证据显示，AI 已成为毒理学家与临床医师重要的临床辅助工具。

此外，加强中毒预防与科普宣传、建立区域中毒救治网络、提升基层医疗机构中毒诊治能力，也是降低中毒发生率、提高救治成功率的重要方向。未来，需进一步推动毒物检测技术与临床诊治的深度融合，完善规范化诊疗指南，加强人才培养与学科建设，全面提升我国中毒救治的整体水平。

#### 5 结语

毒物检测与中毒诊治是一项系统性工作，涉及检验、急诊、重症、药学等多个学科，面临技术局限、流程衔接、特殊人群诊治等诸多挑战。临床医师需熟练掌握毒物检测技术的特点与结果解读要点，优化诊治流程，加强关键节点把控，针对特殊类型中毒制定个体化治疗方案。同时，需关注学科发展前沿，积极引入新技术、新方法，推动多学科协作，不断提升中毒救治的精准性与有效性，为保障患者生命健康提供有力支撑。

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突

#### 参 考 文 献

- [1] 张取涛, 蒋绍锋, 郎楠, 等. 2016—2022 年中国急性中毒病例流行病学特征及毒物类型构成分析 [J]. 中华流行病学杂志, 2024, 45(10): 1376-1382. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20240507-00240.
- [2] 邱泽武, 彭晓波. 重视食源性肉毒中毒诊治中的难点和热点问题 [J]. 中华急诊医学杂志, 2022, 31(3): 265-269. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2022.03.001.
- [3] 李嘉琳, 邱泽武, 孙爱丽, 等. UFLC-MS/MS 法测定中毒患者血清中秋水仙碱 [J]. 中国卫生检验杂志, 2012, 22(11): 2571-2573.
- [4] Lu XX, Liu YQ, Wang CY, et al. Pathogenic characteristics and treatment in 43 cases of acute colchicine poisoning [J]. Toxicol Res, 2021, 10(4): 885-892. DOI:10.1093/toxres/tfab074.
- [5] 李智政, 金中淦. 气相色谱-质谱联用分析技术在检验医学领域的最新应用研究进展 [J]. 现代检验医学杂志, 2025, 40(4): 214-220. DOI: 10.3969/j.issn.1671-7414.2025.04.039.

- [6] Maurer HH, Meyer MR. High-resolution mass spectrometry in toxicology: current status and future perspectives[J]. Arch Toxicol, 2016, 90(9): 2161-2172. DOI:10.1007/s00204-016-1764-1.
- [7] 王怡君, 郭磊, 徐斌, 等. 临床干血斑样本中 12 种抗凝血鼠药的液相色谱-串联质谱法同时定量检测[J]. 分析测试学报, 2017, 36(11): 1296-1303. DOI:10.3969/j.issn.1004-4957.2017.11.002.
- [8] 苏东斌, 董林沛, 张云峰, 等. 适用于法庭科学毒物分析的干血斑检验体系的建立: 以 5 种常见药(毒)物为例[J]. 色谱, 2024, 42(3): 245-255. DOI:10.3724/SP.J.1123.2023.07035.
- [9] 中国毒理学会中毒与救治专业委员会, 中华医学会急诊医学分会中毒学组. 急性中毒诊断与治疗中国专家共识[J]. 中华急诊医学杂志, 2016, 25(11): 1361-1375. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2016.11.004.
- [10] 中国医师协会急诊医师分会, 国家中毒急救医学中心. 急性甲醇中毒中国急诊专家诊治共识(2024 年)[J]. 中华急诊医学杂志, 2024, 33(9): 1161-1172. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2024.09.004.
- [11] 张雅姣, 徐斌, 徐华, 等. 芥子气中毒人员尿液标记物谱分析及其临床诊断应用[J]. 分析测试学报, 2021, 40(4): 551-559. DOI:10.3969/j.issn.1004-4957.2021.04.016.
- [12] 邱泽武, 何跃忠, 王汉斌, 等. 一起严重甲胺磷中毒事件的应急救援[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 1997, 15(2): 114-115. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.1997.02.125.
- [13] 《基于药代动力学的临床常见药物急性中毒血液净化治疗共识》专家组, 潘龙飞, 马青变, 等. 基于药代动力学的临床常见药物急性中毒血液净化治疗共识[J]. 中国全科医学, 2025, 28(9): 1033-1043. DOI:10.12114/j.issn.1007-9572.2024.0514.
- [14] Pannu AK. Clinical guidelines for acute poisonings in low- and middle-income countries[J]. Trop Doct, 2025, 55(4): 376-381. DOI:10.1177/00494755251366342.
- [15] 成人急性中毒血液灌流治疗的灌流器选择共识专家组, 陕西省急诊医学专业医疗质量控制中心. 成人急性中毒血液灌流治疗的灌流器选择专家共识[J]. 中华急诊医学杂志, 2025, 34(12): 1680-1687. DOI: 10.3760/cma.j.cn114656-20251119-00817.
- [16] 俞秀恒, 许榜田, 龙友琦, 等. 临床药师参与 1 例疑似甲氨蝶呤中毒多学科诊疗效果评价[J]. 中国药业, 2020, 29(22): 39-42. DOI:10.3969/j.issn.1006-4931.2020.22.012.
- [17] Tang X, Sun B, He HY, et al. Successful extracorporeal membrane oxygenation therapy as a bridge to sequential bilateral lung transplantation for a patient after severe paraquat poisoning[J]. Clin Toxicol, 2015, 53(9): 908-913. DOI:10.3109/15563650.2015.1082183.
- [18] Li CB, Hu DY, Xue W, et al. Treatment outcome of combined continuous venovenous hemofiltration and hemoperfusion in acute paraquat poisoning: a prospective controlled trial[J]. Crit Care Med, 2018, 46(1): 100-107. DOI:10.1097/CCM.0000000000002826.
- [19] Sun M, Herrmann N, Shulman KI. Lithium toxicity in older adults: a systematic review of case reports[J]. Clin Drug Investig, 2018, 38(3): 201-209. DOI:10.1007/s40261-017-0598-9.
- [20] 中国毒理学会中毒与救治专业委员会, 中华医学会急诊医学分会中毒学组. 中国急性铊中毒诊断与治疗专家共识(2021)[J]. 中华危重病急救医学, 2021, 33(4): 385-392. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20210305-00338.
- [21] Singh S, Parmar I. Advances in bioanalytical techniques for toxicological applications: Emerging techniques, challenges, and future directions[J]. Food Chem Toxicol, 2026, 207: 115842. DOI:10.1016/j.fct.2025.115842.
- [22] 单蕾, 李惠玲, 龙苗苗, 等. 基于人工智能中毒救治临床决策支持系统的构建[J]. 中国工业医学杂志, 2025, 38(3): 324-328. DOI:10.13631/j.cnki.zggyyx.2025.03.019.
- [23] Angrish M, Thayer KA, Schulz B, et al. Proof-of-concept for using machine learning to facilitate data extraction for human health chemical assessments: a study protocol[J]. Evid Based Toxicol, 2024, 2(1): 2421192. DOI:10.1080/2833373x.2024.2421192.
- [24] Zhai JX, Jiang C, Yan H, et al. Integrative metabolomics and machine learning reveal diagnostic biomarkers for gelsenicine intoxication[J]. J Ethnopharmacol, 2026, 358: 121022. DOI:10.1016/j.jep.2025.121022.
- [25] Li HY, Liu Z, Sun WM, et al. Interpretable machine learning for the prediction of death risk in patients with acute diquat poisoning[J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 16101. DOI:10.1038/s41598-024-67257-6.

(收稿日期: 2026-02-27)

(本文编辑: 张斯龙)