·综　述·

利用犬类嗅觉搜索血迹物证的研究进展

张瑶[1]，方伟[2]，熊丽娟[3]，李静[4]，郑吉龙[2]，巴华杰[5]，郑岩[6]

1. 中国刑事警察学院公共基础教研部，辽宁 沈阳 110854；2. 中国刑事警察学院警犬技术学院，辽宁 沈阳 110141；3. 重庆市公安局刑侦总队，重庆 400707；4. 新疆政法学院司法警官学院，新疆 图木舒克 843806；5. 常州市公安局物证鉴定所，江苏 常州 213003；6. 中国刑事警察学院侦查与反恐怖学院，辽宁 沈阳 110854

摘　要：血迹可为案件侦查提供关键信息，是重要的法医物证。在犯罪现场发现潜在血迹至关重要，可以使用化学、物理、生物等手段进行搜寻。生物搜寻以警犬为典型代表，使用犬类搜寻犯罪现场潜在血迹是一种实时、快速、有效、无损的检测方法，能够适应多场景检测工作的需要。本文通过梳理警犬血迹搜索技术的发展史，总结警犬血迹搜索的气味基础，从使用警犬搜索微量血迹、稀释血迹、清洗血迹、区分人血与动物血等角度，综述法医调查中警犬血迹搜索技术的使用现状，并对该技术的发展进行展望，以期为警犬血迹搜索相关研究提供参考。

关键词：法医学；嗅觉；气味分析；血迹；挥发性有机化合物；警犬；综述

文章编号：1004-5619(2026)04-0352-07　　**中图分类号**：R89；DF795.1；D919.1

doi：10.12116/j.issn.1004-5619.2024.441206　　**文献标志码**：A

Research Progress on the Use of Canine Olfaction for Bloodstain Evidence Search

Zhang Yao[1], Fang Wei[2], Xiong Lijuan[3], Li Jing[4], Zheng Jilong[2], Ba Huajie[5], Zheng Yan[6]

1. Department of Public Basic Teaching and Research, Criminal Investigation Police University of China, Shenyang 110854, China; 2. Canine Technology College, Criminal Investigation Police University of China, Shenyang 110141, China; 3. Criminal Investigation Corps of Chongqing Public Security Bureau, Chongqing 400707, China; 4. College of Judicial Police, Xinjiang University of Political Science and Law, Tumxuk 843806, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 5. Institute of Forensic Science, Changzhou Public Security Bureau, Changzhou 213003, Jiangsu Province, China; 6. College of Investigation and Anti-terrorism, Criminal Investigation Police University of China, Shenyang 110854, China

Abstract: Bloodstains can provide critical information for criminal investigations and serve as important forensic evidence. The discovery of potential bloodstains at a crime scene is crucial, and can be achieved by chemical, physical, and biological means. Biological search is typically represented by canines. Using canines to search for potential bloodstains at crime scenes is a real-time, rapid, effective and non-destructive detection method, which can meet the needs of various detection scenarios. This paper traces the development history of the canine bloodstain search technique and summarizes the olfactory basis of bloodstain search by canines. From the perspectives of using police dogs to search for trace bloodstains, diluted bloodstains, and cleaned bloodstains, and differentiating human blood from animal blood, this paper reviews the current application of the canine bloodstain search technique in forensic investigations, and looks forward to the development of this technique, with the aim of providing a reference for related research on canine bloodstain searches.

Keywords: forensic medicine; olfaction; odor analysis; bloodstain; volatile organic compound; police dog; review

基金项目：辽宁省教育厅2025年度高校基本科研项目(LJ212510175011)；新疆政法学院2024年度校长基金资助项目(XZZK2024001)

作者简介：张瑶(1973—)，女，硕士，讲师，主要从事侦查学和大学英语的教学和科研；E-mail：zhangyao20222@163.com

通信作者：方伟，男，硕士，教授，主要从事警犬训练与使用的教学和科研；E-mail：40969291@qq.com

通信作者：李静，女，博士，副教授，主要从事警犬技术与司法鉴定的教学和研究；E-mail：ljjy_6660@126.com

引用格式：张瑶，方伟，熊丽娟，等. 利用犬类嗅觉搜索血迹物证的研究进展[J]. 法医学杂志，2026，42(4)：352-358.

To cite: Zhang Y, Fang W, Xiong L J, et al. Research progress on the use of canine olfaction for bloodstain evidence search[J]. Fayixue Zazhi, 2026, 42(4): 352-358.

血迹是犯罪现场常见的生物证据[1]。在犯罪现场发现血迹对于现场重建、犯罪认定有着重要的意义。目前，寻找犯罪现场潜在血迹的方法主要有化学方法、物理方法和生物搜寻法。基于化学反应的血痕预实验方法会对后续的DNA检验产生一定影响[2-4]。物理方法主要借助光谱成像技术显现潜在血迹，以拉曼光谱[5]、高光谱技术[6]为代表，但此类方法易受基底干扰而存在一定的局限性。生物搜寻法主要利用生物灵敏的嗅觉去发现潜在血迹，以犬类为代表，血迹搜索犬能够发现犯罪现场的血迹，该方法具有简便、高效、无损等特点，已成为犯罪现场发现血迹的重要方式之一。与化学和物理方法相比，犬类不仅能够检测气味，还能自主跟踪气味羽流至源头[7]，可在较短时间内特异性地定位大范围区域内的血液痕迹[8]。本文拟从我国警方使用犬类搜索血迹的历史、血迹的气味特征、法医调查中警犬血迹搜索技术的使用及警犬血迹搜索训练辅助物等角度进行综述，以期为相关研究提供参考。

1　我国警犬血迹搜索技术的发展史

人类试图使用犬类追踪犯罪嫌疑人的理念要追溯至1888年的“开膛手杰克”案件。在这起案件中，公众认为犯罪嫌疑人身上沾满了被害人的血，逃跑路线上一定会留下相关气味，使用犬类的嗅觉能力可以追踪到犯罪嫌疑人[9]。尽管犬在追踪试验中获得了成功，但当时的舆论认为使用猎犬追踪犯罪嫌疑人是“无法无天的法律统治”，是“对正义的歪曲和对自由的压制”[10]，导致犬并未真正被部署使用。1957年，我国一名带犬警察在一起凶杀案件侦查过程中发现警犬能够辨识血迹，后经过近3年的探索，总结出利用警犬鉴别血迹的成功经验[11]，这是我国警方使用警犬搜索血迹的雏形。2006年7月，针对传统警犬血迹搜索技术仅用于命案侦查中寻找尸体、杀人凶器的局限性，厦门市公安局刑侦支队率先启动“血迹搜索犬训练与应用技术”课题研究，这标志着我国警方开始对警犬搜索血迹进行系统研究。2010年，该课题成果顺利通过公安部科技成果鉴定，并于2012年获公安部科技进步奖二等奖[12]。该课题解决了使用犬类搜索微量血迹、稀释血迹，区分人血与动物血及妇女月经血，隔门非接触式搜索等训练关键技术。警犬血迹搜索技术在法医调查中发挥着重要作用，使用犬类血迹搜索技术可以为案件定性[13]、认定犯罪[14]、确定犯罪嫌疑人逃跑方向[15]等提供重要证据。多年的警犬使用实践亦充分说明，利用血迹搜索犬发现现场血迹是一种独特有效的方法。

2　警犬血迹搜索的气味依据

血液的气味成分较为复杂，血迹搜索犬如何识别血液中的成分并进行搜索，一直都是学者感兴趣的问题。张皓等[16]通过两个阶段的实验对此进行了探索：第一阶段，分别以解剖血、医用血及两者混合血为嗅源训练三组犬（共9头）；第二阶段，从活体血液中分离出血清和红细胞，分别布设血迹点，测试上述三组犬的反应。结果显示：9头犬均对血清样本作出果断示警反应；对于红细胞样本，仅有3头犬有探求嗅闻但未示警，其余6头犬无任何表示。该研究显示，犬搜索血迹时，主要的寻找目标为血清气味。人体血液分解过程中会产生挥发性有机化合物（volatile organic compound，VOC），血清作为犬的主要目标气味源，其VOC特征值得进一步探究。Longo等[17]使用顶空固相微萃取联合气相色谱-质谱（headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry，HS-SPME-GC-MS）技术分析人体血液中的VOC，结果显示受试者之间的VOC数量存在很大差异。血液中VOC的差异，可能由个体的遗传、微生物、饮食、生活环境和其他外部因素的变化造成[18]，也可能与分析时所采取的取样方法、分析方法以及研究中所针对的具体化合物有关。尽管Longo等[17]的实验结果显示不同个体的血液VOC不同，但更多的研究结果显示不同个体血液中的VOC存在共性。Kusano等[19]确定了人体血液中存在十一烷、1-辛烯-3-醇、己醛、2-庚酮、苯甲醇、壬醛、十四烷、1-十二碳烯等VOC。李昊洋等[20]通过文献整理，认为1-辛烯-3-醇、反式-2-辛烯-1-醇、6-甲基-2-庚酮、2-戊基呋喃、十一烷、十二烷、十三烷、十五烷、十六烷、十九烷等广泛存在于血液中，己醛、1-己醇、壬醛、2-庚酮、2-乙基己醇等是在血液分解过程中大量产生的。据报道[21]，血液中发现的VOC数量达379种。然而，现有的血液气味特征分析研究中观察到的VOC数量和类型并不一致。尽管目前尚未明确血迹搜索犬探测的是单一化合物、单一种类的化合物还是整体的气味特征并发出警示，但人体血液分解过程中产生的VOC是客观存在的，这是使用犬类嗅觉搜索人体血迹的客观前提。不同个体血液中普遍存在的VOC共有成分，可能是警犬开展嗅觉作业的依据。

3　法医调查中警犬血迹搜索技术的应用

3.1　使用警犬搜索微量血迹

微量血迹是指遗留在各种介质上的量小体微、不易被肉眼直接观察到的血迹。案件现场常需要寻找

微量血迹，而警犬在犯罪现场潜在微量血迹的搜索中具有较大的优势。李维福等[22]实现了犬在未知条件下对0.035 mL户外风化血迹的果断示警。于毅等[23]实现了犬在未知条件下对10 μL新鲜血液的有效示警，成功率为87%。Skalleberg等[24]将0.05、0.1和0.5 mL血液滴落在针叶林地面上并分别延时1、4、9、24、32和48 h，结果显示，警犬能够定位推定测试无法检出的陈旧性微量血迹，对于推定测试呈阳性但无法检出DNA的血迹，犬也会示警。Chilcote等[25]为探究微量血迹在户外风化条件下的有效检出时限，将血液沉积在混凝土和漆木表面，并在户外环境中风化3个月，运用固相微萃取联合GC×GC气相色谱-飞行时间质谱（solid-phase microextraction coupled with comprehensive two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry，SPME-GC×GC-TOFMS）方法分析血迹中VOC的变化，并与犬的行为反应进行比较。实验结果显示，犬对混凝土和漆木表面血迹的有效检出时限分别为1个月和1周，SPME-GC×GC-TOFMS测定的相应时限分别为59 d和84 d。尽管该结果显示犬类检测的灵敏度低于化学分析仪器，但该研究未考虑标准训练程序对研究结果的影响。李维福等[22]的研究证明了这一点，训练程序、训练方法的不同会影响犬类的检测极限，通过持续的训练，犬类对风化血迹的有效检出时限可以长达6个月。

3.2 使用警犬搜索稀释血迹

稀释血迹是指血液离开人体后与其他液体（如水、尿液等）混合，导致血液成分被稀释、原有形态发生改变的血迹。作案人员常通过冲洗与犯罪有关的血迹以逃避侦查[26-27]。室外现场受天气影响，血迹会遭受雨水、雪水的冲刷。在案件现场经常遇到稀释血迹[28]，警犬往往能够快速发现稀释的血迹。据报道[29]，在一起疑似杀人案件中，案发后2 d内连续多次下雨，技术人员仅在距失踪人员家1 200 m处发现血迹并鉴定系失踪人员；案发后第4天，使用警犬在距失踪人员家25、230、400、1 200、1 800、3 000 m处均发现血迹，并确定了抛尸路线；此外，带犬民警根据警犬确定的抛尸路线的距离推断犯罪嫌疑人极有可能使用运尸工具，遂在划定的地域范围内加强搜索，最终发现了运尸工具，为案件侦破提供了重要依据。

血液被稀释后其VOC浓度也会发生改变，为了确保实战中警犬能够有效发现潜在的稀释血迹，往往会使用稀释血液作为嗅源来训练警犬。李维福等[22]通过实验发现，将0.035 mL血液稀释至5 000 mL水中，犬能够正确示警。刘少辉等[30]用10只通过考核的血迹搜索犬开展实验，结果显示，搜索成功率随着稀释比例的增加而逐步降低，稀释倍数为1∶5 000与1∶10 000时，犬的成功率均为96.67%，稀释倍数为1∶40 000时，成功率降至61.67%。于毅等[23]将100 μL新鲜人体血液最大稀释至200倍，结果同样显示，随着稀释倍数的增加，警犬搜索成功率下降。然而，以上研究均侧重于确定犬类对稀释血迹的最低检出浓度，没有从法医气味分析角度运用化学方法分析气味变化的因素，是其不足之处。Schoon[31]比较了2头搜尸犬与3种常见血液推定测试方法（鲁米诺检验、四甲基联苯胺试验和Kastle-Meyer测试）对稀释血迹的灵敏度，将新鲜血液稀释至4 000倍后，取0.2 mL沉积在光滑载体（乙烯基）和粗糙载体（地毯）表面。结果显示，当稀释血液暴露于光滑载体表面时，推定测试方法的灵敏度优于犬，但暴露于粗糙载体表面时，犬的灵敏度优于推定测试方法。该研究提示，在进行相关研究时，载体类型是一个重要的考虑因素。Riezzo等[32]使用盐水溶液对人尸体血液进行稀释，稀释比例从1∶1至1∶1 000 000，使用2头经过16个月系统训练的犬开展实验，结果显示，稀释比例为1∶1 000 000时，2头犬的阳性预测值分别达97.44%和96.05%。鲁米诺检验作为血迹搜索中常用的推定测试方法，可检测稀释至1∶5 000 000的血液，但更为常见的报道是，其对1:100 000稀释度的血液具有检测能力，且在此水平下可回收DNA[33]。Riezzo等[32]的实验表明，在某些情况下，犬的示警可能无法用当前的技术来确认。未来的研究应注重犬的示警、化学推定实验及DNA检验之间的验证对比，以确保在当前技术水平下犬的示警结果对现有技术手段的辅助价值。

3.3 使用警犬搜索洗涤血迹

为毁灭证据，犯罪嫌疑人在作案后可能会洗涤带血衣物等，以减少从物证中获取有效遗传信息的机会[34]。但Ünsal Sapan等[26-27]的研究表明，洗涤过的带血衣物依然存在检出DNA的可能。训练有素的血迹搜索犬，能够发现人类肉眼甚至仪器设备都难以确认的潜在血迹，可以为后续侦查提供线索和取证方向，是DNA检验的前置辅助工具，具有重要的实战价值。Rust等[33]为评估血迹搜索犬对洗涤后带血衣物的检测能力，将1 mL血液滴在5 cm×5 cm白色纯棉织物上，干燥12 h后用波轮式洗衣机添加家用洗衣液洗涤5次。实验结果显示，血迹搜索犬的表现与鲁米诺检验结果一致，能够对洗涤5次的血液样本有效示警，并且能够将其与对照样本区分开，而HS-SPME-GC×GC-TOFMS只能在清洗2次及以内的样本中检测到血液。进一步的VOC分析表明，有5种VOC可以高度区分带血洗涤样本和阴性对照样本，其中，2-戊基

呋喃和乙酸丁酯与洗涤后的带血样本相关，癸烷、十二烷酸甲酯和十三烷酸甲酯则与洗涤后的阴性对照样本相关。

3.4 使用警犬区分人血与动物血

在案件现场快速区分人血与动物血对于案件侦查而言至关重要[35-36]。李维福等[22]运用刺激与强化条件反射原理，通过抑制犬对动物血迹气味的反应、强化犬对人体血迹气味的反应，实现了使用警犬有效区别人血与各种常见动物血。王辛等[37]利用HS-SPME-GC-MS技术分析了血液中的VOC，并比较了人和动物（牛、羊、犬、鸡、鸽子）血液的气味差异，为犬如何区分人血与动物血提供了理论基础。该研究发现，甲基烯丙基硫醚、2-乙基己酸两种物质只存在于人体血液中，磷酸三丁酯、2-甲基丁醛、3-辛基环戊烯、2-己烯酸乙酯4种化合物在人和动物血液的VOC组成中存在显著差异。考虑到影响血迹VOC的因素较多，未来应进一步加强不同变量情况下人血与动物血的VOC差异研究。

4　血迹搜索犬训练嗅源现状

4.1 人血液

进行警犬血迹搜索训练时，血液来源主要有3种：无抗凝剂的活体血液（注射器采集）、含抗凝剂的活体血液（真空采血管保存）和尸体血液（真空采血管或密封容器保存）。张皓等[16]根据实验中犬的反应判断解剖血、医用血和活体血三者的气味存在差异。存在差异的原因主要在于分解环境不同：解剖血是人死亡后在体内的自然腐败分解，医用血是活体血液在真空采血管内的分解，活体血是活体血液在注射器内的分解。使用尸体血液作为嗅源训练出的警犬一般不会对活体血液产生反应，该训练更多是为了搜索尸体或尸块等人类遗骸[38]。真空采血管内含用于防止血液凝固的乙二胺四乙酸三钾（ethylene diamine tetraacetic acid-K_3，EDTA-K_3），尽管Forbes等[18]在实验条件下并未发现EDTA-K_3对血液VOC的显著影响，但根据张皓等[16]的实验结果可以推断抗凝剂还是会对犬产生干扰。因为犯罪现场使用警犬搜索的血迹多为活体血迹，故警犬训练时采用活体血液作为嗅源更为合理。

4.2 气味替代品

活体血液作为警犬血迹搜索的嗅源，虽然其气味真实，但血液采集涉及伦理问题，且存在生物安全风险。因此，有学者开始研发并使用血迹气味替代品开展警犬训练。龙成生等[39]使用8头具有实战应用能力的血迹搜索犬，检验公安部南京警犬研究所自主研发的血迹气味替代产品，测试结果显示犬能够对气味替代品有效示警，提示用血迹气味替代品训练血迹搜索犬具有可行性。为了进一步验证这一结论，龙成生等[40]开展了对比研究，分别用血迹气味替代品和新鲜血迹作为嗅源训练警犬，结果显示，两者的训练效果没有显著差异。李昊洋等[20]运用HS-SPME-GC-MS技术检测血液中VOC，证明了人工合成模拟血液和人血的基质效应无显著差异。但目前对包括血迹气味在内的人体气味的研究还不够深入，使用替代品开展警犬训练仍需要不断改进替代品的配方并开展反向检验实验。

5　不足与展望

5.1 加强人体血迹气味成分研究

研究[7]证明，犬类感知的不是物品本身，而是物品的活性气味特征。分析血液中的VOC对于提高警犬训练效率、提升犯罪现场血迹发现率有积极意义[20]。已有研究[8,25,33,41]对不同分解阶段的血迹气味特征进行了表征，以确定分解气味的VOC组成及其在犬类检测中的可用性。个体间的血迹VOC存在差异[17]，但犬类搜索实践表明，不同个体的血迹中存在可被犬类识别的共有VOC，尽管已有科学研究[19-20]显示不同个体血迹气味存在共性，然而，目前尚缺乏对其的系统性研究。未来的研究中，应进一步明确不同人群以及不同载体、降解时间、温度等条件下血迹VOC的共性，加强血液VOC的化学分析，力争厘清血液VOC成分等，为科学设计血迹气味替代品提供理论依据，并最终确定警犬所识别的具体VOC标志物。

5.2 加强影响血迹VOC的变量研究

血迹VOC受降解时间[8,25,33,41]、载体[33,42-43]、温度[18]、洗涤[33]等因素影响。为了使血迹搜索犬在法医调查中更好地发挥作用，需要进一步研究不同条件下血液释放的VOC特征，以及犬类对这些VOC的相应反应，从而提高对犬能够检测到的化合物及其浓度的了解[25]。漂白剂是犯罪分子处理血迹的常用化学试剂之一，与洗涤剂的作用机制截然不同，但现有研究仅关注时间、载体、温度、洗涤剂等对血迹VOC的影响。李泽琴等[27]认为，能否从洗涤织物中成功检测血痕DNA，不仅与织物的类型、化学性质、编织方式、密度有关，还与洗涤的水温、时间、次数以及洗涤剂等有关。因此，在未来的工作中应进一步探索血迹VOC与犯罪现场血液清理场景相关变量的关系，并进一步探究这些因素对犬定位潜在血液的准确性的影响。

犬类搜索技术应与血迹确认技术相结合。血迹搜索犬可作为犯罪现场潜在血迹的筛选工具，是化学

推定试验的有效补充手段。犬的示警意味着现场存在血迹，但仍需使用化学或物理方法完成进一步的确认，犬发现的血迹才能转化为科学证据。持续接受新鲜和降解血液训练的犬，对血迹气味检测的灵敏度和准确率均优于VOC分析仪器[41]，且通过持续的针对性训练，犬的检测灵敏度还能够进一步提升[33]。

参考文献：

[1] Singh O G, Shandil A, Kumar S R, et al. Blood & blood stains in criminal investigation: A forensic perspective[J]. IP Int J Forensic Med Toxicol Sci, 2023, 8(4): 145-147. doi: 10.18231/j.ijfmts.2023.031.

[2] 王清山，范英南，宁淑华，等. 匹拉米洞与联苯胺在血痕预实验中的灵敏性及DNA损伤检测研究[J]. 中国法医学杂志，2018，33(2)：180-183. doi：10.13618/j.issn.1001-5728.2018.02.015.
Wang Q S, Fan Y N, Ning S H, et al. Sensitivity performance and DNA damage of pyramidon and benzidine in blood strain testing[J]. Zhongguo Fayixue Zazhi, 2018, 33(2): 180-183.

[3] 金明，巴华杰，朱爱华，等. 联苯胺试验对血痕DNA检验的影响[J]. 法医学杂志，2018，34(2)：157-160. doi：10.3969/j.issn.1004-5619.2018.02.011.
Jin M, Ba H J, Zhu A H, et al. Effect of benzidine test on DNA analysis of bloodstain[J]. Fayixue Zazhi, 2018, 34(2): 157-160.

[4] Zulfiqar M, Ahmad M, Sohaib A, et al. Hyperspectral imaging for bloodstain identification[J]. Sensors (Basel), 2021, 21(9): 3045. doi: 10.3390/s21093045.

[5] Kistenev Y V, Borisov A V, Samarinova A A, et al. A novel Raman spectroscopic method for detecting traces of blood on an interfering substrate[J]. Sci Rep, 2023, 13(1): 5384. doi: 10.1038/s41598-023-31918-9.

[6] 高毅，黄涛，郝静如，等. 高光谱成像技术在生物物证领域的研究进展[J]. 法医学杂志，2022，38(5)：640-649. doi：10.12116/j.issn.1004-5619.2021.510904.
Gao Y, Huang T, Hao J R, et al. Research progress of hyperspectral imaging technology in biological evidence[J]. Fayixue Zazhi, 2022, 38(5): 640-649.

[7] Furton K G, Caraballo N I, Cerreta M M, et al. Advances in the use of odour as forensic evidence through optimizing and standardizing instruments and canines[J]. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 2015, 370(1674): 20140262. doi: 10.1098/rstb.2014.0262.

[8] Rendine M, Fiore C, Bertozzi G, et al. Decomposing human blood: Canine detection odor signature and volatile organic compounds[J]. J Forensic Sci, 2019, 64(2): 587-592. doi: 10.1111/1556-4029.13901.

[9] Pemberton N. 'Bloodhounds as detectives': Dogs, slum stench and late-Victorian murder investigation[J]. Cult Soc Hist, 2013, 10(1): 69-91. doi: 10.2752/147800413x13515292098197.

[10] Blum B. The hounds of empire: Forensic dog tracking in Britain and its colonies, 1888—1953[J]. Law Hist Rev, 2017, 35(3): 621-665. doi: 10.1017/s0738248017000232.

[11] 牛晓谦. 张德桂和破案神犬[J]. 科技潮，1996(2)：26-28.
Niu X Q. Zhang Degui and the crime-solving canine[J]. Kejichao, 1996(2): 26-28.

[12] 凌子. 李维福：血迹搜索犬训导专家[J]. 中国工作犬业，2016(8)：56-58. doi：10.3969/j.issn.1673-0135.2016.08.022.
Ling Z. Li Weifu: Expert in blood-tracking dog training[J]. Zhongguo Gongzuoquanye, 2016(8): 56-58.

[13] 牟勇. 使用血迹搜索犬发现"7·7"命案第一现场[J]. 中国工作犬业，2017(12)：41-42. doi：10.3969/j.issn.1673-0135.2017.12.011.
Mou Y. Using blood-tracking dogs to locate the primary crime scene of the "7·7" homicide case[J]. Zhongguo Gongzuoquanye, 2017(12): 41-42.

[14] 王浩，唐磊，卢玥文. 使用警犬发现故意杀人案关键物证1例分析[J]. 中国工作犬业，2022(1)：46. doi：10.3969/j.issn.1673-0135.2022.01.012.
Wang H, Tang L, Lu Y W. Using police dogs to discover key physical evidence in an intentional homicide case[J]. Zhongguo Gongzuoquanye, 2022(1): 46.

[15] 陈舒，周肖鹏. 警犬搜索血迹物证协助侦破命案1例分析[J]. 中国工作犬业，2022(12)：34-36. doi：10.3969/j.issn.1673-0135.2022.12.010.
Chen S, Zhou X P. Police dogs searching for bloodstain evidence in homicide investigation: A case report[J]. Zhongguo Gongzuoquanye, 2022(12): 34-36.

[16] 张皓，周嘉宁. 血迹搜索嗅源的试验与应用[J]. 中国工作犬业，2016(2)：29-30. doi：10.3969/j.issn.1673-0135.2016.02.009.
Zhang H, Zhou J N. Experiment and application of blood-detection scent samples[J]. Zhongguo Gongzuoquanye, 2016(2): 29-30.

[17] Longo V, Forleo A, Ferramosca A, et al. Blood, urine and semen volatile organic compound (VOC) pattern analysis for assessing health environmental impact in highly polluted areas in Italy[J]. Environ Pollut, 2021, 286: 117410. doi: 10.1016/j.envpol.2021.117410.

[18] Forbes S L, Rust L, Trebilcock K, et al. Effect of age and storage conditions on the volatile organic compound profile of blood[J]. Forensic Sci Med Pathol, 2014, 10(4): 570-582. doi: 10.1007/s12024-014-9610-3.

[19] Kusano M, Mendez E, Furton K G. Development of headspace SPME method for analysis of volatile organic compounds present in human biological specimens[J]. Anal Bioanal Chem, 2011, 400(7): 1817-1826. doi:10.1007/s00216-011-4950-2.

[20] 李昊洋,张文骥,韩祺瑞,等. 顶空固相微萃取/气相色谱-质谱法测定血液中15种挥发性有机物[J].分析测试学报,2024,43(9):1442-1449. doi:10.12452/j.fxcsxb.24041204.
Li H Y, Zhang W J, Han Q R, et al. Determination of 16 volatile organic compounds in blood by headspace solid-phase microextraction/gas chromatography-mass spectrometry[J]. Fenxi Ceshi Xuebao, 2024,43(9):1442-1449.

[21] Drabińska N, Flynn C, Ratcliffe N, et al. A literature survey of all volatiles from healthy human breath and bodily fluids: The human volatilome[J]. J Breath Res, 2021, 15(3): 034001. doi:10.1088/1752-7163/abf1d0.

[22] 李维福,李金峰,宋珍华. 搜索微量血迹气味训练可行性探讨[J].中国工作犬业,2011(2):24-25. doi:10.3969/j.issn.1673-0135.2011.02.012.
Li W F, Li J F, Song Z H. Search feasibility of micro blood scent training[J]. Zhongguo Gongzuoquanye, 2011(2):24-25.

[23] 于毅,肖建伟. 德国牧羊犬感知微量人血气味能力的实验研究[C]//2012全国工作犬技术研讨会论文集,2012:155-162.
Yu Y, Xiao J W. Experimental study on the ability of German Shepherd dogs to perceive trace human blood odor[C]// Proceedings of the 2012 National Symposium on Working Dog Technology, 2012: 155-162.

[24] Skalleberg A G, Bouzga M M. Detecting and collecting traces of semen and blood from outdoor crime scenes using crime scene dogs and presumptive tests[J]. Forensic Sci Int, 2016, 264: 146-152. doi:10.1016/j.forsciint.2016.04.026.

[25] Chilcote B, Rust L, Nizio K D, et al. Profiling the scent of weathered training aids for blood-detection dogs[J]. Sci Justice, 2018, 58(2): 98-108. doi:10.1016/j.scijus.2017.11.006.

[26] Ünsal Sapan T, Erdoğan I T, Atasoy S. Human identification from washed blood stains[J]. Bull Natl Res Cent, 2021, 45: 148. doi:10.1186/s42269-021-00600-3.

[27] 李泽琴,刘娜,原芳,等. 棉织物上血斑洗涤后无损取材方式及DNA提取方法研究[J].中国法医学杂志,2023,38(3):284-289. doi:10.13618/j.issn.1001-5728.2023.03.015.
Li Z Q, Liu N, Yuan F, et al. Study on nondestructive sampling and DNA extraction method of laundered bloodstains on cotton fabrics[J]. Zhongguo Fayixue Zazhi, 2023, 38(3): 284-289.

[28] van den Berge M, de Vries F G, van der Scheer M, et al. Determining how diluted bloodstains were derived: Inferring distinctive characteristics and formulating a guideline[J]. Forensic Sci Int, 2019, 302: 109918. doi:10.1016/j.forsciint.2019.109918.

[29] 陈金泉,叶春本,王翼晗. 浅析血迹搜索犬技术在一起抢劫杀人案中的成功应用[J].中国工作犬业,2016(7):45-47. doi:10.3969/j.issn.1673-0135.2016.07.017.
Chen J Q, Ye C B, Wang Y H. Successful application of blood-detection canines in a robbery-homicide case[J]. Zhongguo Gongzuoquanye, 2016(7): 45-47.

[30] 刘少辉,郑平,朱坤. 罗杜杂交犬搜索稀释血迹实验研究[J].中国工作犬业,2015(11):26-28. doi:10.3969/j.issn.1673-0135.2015.11.009.
Liu S H, Zheng P, Zhu K. Experimental study on detection of diluted bloodstains by Rottweiler-Doberman crossbreeds[J]. Zhongguo Gongzuoquanye, 2015(11):26-28.

[31] Schoon A. A comparison between canine detection of blood residue and some blood presumptive tests[J]. J Forensic Identif, 2013, 63(3): 255-262.

[32] Riezzo I, Neri M, Rendine M, et al. Cadaver dogs: Unscientific myth or reliable biological devices?[J]. Forensic Sci Int, 2014, 244: 213-221. doi: 10.1016/j.forsciint.2014.08.026.

[33] Rust L, Nizio K D, Wand M P, et al. Investigating the detection limits of scent-detection dogs to residual blood odour on clothing[J]. Forensic Chem, 2018, 9: 62-75. doi:10.1016/j.forc.2018.05.002.

[34] Kitpipit T, Chuaythan W, Thanakiatkrai P. Direct STR profiling from laundered bloodstains: An investigation of different factors of laundering[J]. Int J Leg Med, 2022, 136(5): 1237-1245. doi:10.1007/s00414-022-02858-2.

[35] Kennedy K, Cole L, Witt M, et al. Forensic discrimination of differentially sourced animal blood using a bottom-up proteomics based MALDI MS approach[J]. Molecules, 2022, 27(7): 2039. doi:10.3390/molecules27072039.

[36] Cooney G S, Köhler H, Chalopin C, et al. Discrimination of human and animal bloodstains using hyperspectral imaging[J]. Forensic Sci Med Pathol, 2024, 20(2): 490-499. doi: 10.1007/s12024-023-00689-0.

[37] 王辛,龙成生,吴德华,等. HS-SPME-GC/MS法在血液气味分析中的应用[J].分析仪器,2012(2):21-25. doi:10.3969/j.issn.1001-232X.2012.02.005.
Wang X, Long C S, Wu D H, et al. Application of HS-SPME-GC/MS in analysis of blood odor[J]. Fenxi Yiqi, 2012(2):21-25.

[38] 方伟,郑吉龙,付奕铭,等. 利用犬类嗅觉搜索人体遗骸研究进展[J]. 法医学杂志,2024,40(3):269-275. doi:10.12116/j.issn.1004-5619.2023.431105.
Fang W, Zheng J L, Fu Y M, et al. Research progress of using canine olfactory search for human remains[J]. Fayixue Zazhi,2024,40(3):269-275.

[39] 龙成生,王辛,吴德华,等. 血迹搜索犬测试血液气味替代品的效能分析[J]. 中国工作犬业,2012(4):24-25. doi:10.3969/j.issn.1673-0135.2012.04.008.
Long C S, Wang X, Wu D H, et al. Evaluation of canine detection performance on blood odor substitutes[J]. Zhongguo Gongzuoquanye,2012(4):24-25.

[40] 龙成生,王辛,吴德华,等. 血迹气味替代品在血迹搜索犬训练中的应用[C]//2012全国工作犬技术研讨会论文集,2012:171-173.
Long C S, Wang X, Wu D H, et al. Application of blood odor substitutes in the training of blood-detection dogs[C]// Proceedings of the 2012 National Symposium on Working Dog Technology,2012:171-173.

[41] Dargan R, Forbes S L. Cadaver-detection dogs: A review of their capabilities and the volatile organic compound profile of their associated training aids[J]. WIREs Forensic Sci,2021,3(6):e1409. doi:10.1002/wfs2.1409.

[42] Moran J K, Dietrich D R, Elbert T, et al. The scent of blood: A driver of human behavior?[J]. PLoS One,2015,10(9):e0137777. doi:10.1371/journal.pone.0137777.

[43] Bertomeu-Sánchez J R. Chemistry, microscopy and smell: Bloodstains and nineteenth-century legal medicine[J]. Ann Sci,2015,72(4):490-516. doi:10.1080/00033790.2014.974069.

(收稿日期:2024-12-12)
(本文编辑:张建华)