

利用蜜蜂进行地雷探测的研究进展

花秋菊¹ 吴丽丽² 蔺哲广¹ 吉挺¹

(1 扬州大学动物科学与技术学院, 扬州 225009; 2 达州市畜牧技术推广站, 达州 635000)

摘要: 地雷是一种威力巨大的爆炸性火器, 其有效期长, 即使废弃多年, 仍然会被触发而导致爆炸, 对冲突后地区人民的生活造成了极大威胁。考虑到各个地区的环境地貌不同, 一种排雷方法不可能适用于所有环境, 而蜜蜂却能进入各种人类和大动物进不去的场所, 嗅探并携带爆炸物信息返回蜂巢, 这为人类进行爆炸物检测提供了可能。本文对近年间利用蜜蜂开展地雷探测的研究进行简要综述。

关键词: 蜜蜂; 地雷; 激光雷达

Advances in research on the use of honeybees for mine detection

Hua Qiuju¹, Wu Lili², Lin Zheguang¹, Ji Ting¹

(1 College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, 225009 Yangzhou, China;

2 Animal Husbandry Technology Promotion Station of Dazhou, 635000 Dazhou, China)

Abstract: Landmines are powerful explosive firearms that have a long-life span and, even after years of disuse, can still be triggered and cause explosions, posing a great threat to the lives of people in post-conflict areas. Considering the different environmental landscapes of each region, one demining method cannot be applied to all environments, while honeybees are able to enter a variety of places inaccessible to humans and large animals, sniffing and returning to the hive with information on explosives, which provides the possibility of human detection of explosive substances. This paper provides a brief review of recent research on the use of bees for mine detection.

Key words: honeybee; landmine; LiDAR

地雷是一种威力巨大的爆炸性火器。与其威力相反, 地雷的尺寸较小, 极易隐藏, 通常埋藏在地下或放置于地表。在埋藏合适的情况下, 即使在几十年后, 地雷仍然会被触发^[1]。人道主义排雷工作致力于清除雷区的全部地雷并使雷区重新恢复使用, 同时也要保护排雷人员和嗅探动物的生命安全, 这使整个排雷工作变得费时费力且费钱。

近年来, 各个国家和地区为排除遗留地雷尝试了各种各样的方法。从人道主义角度考虑, 最安全的探测方法就是不和探测目标产生任何物理上的接触。蜜蜂体型小, 飞行灵活, 它可以进入许多人类与探测器械进不去的场地, 嗅探并携带爆炸物的微量残留物回到蜂巢的同时, 还不会触发地雷引起爆炸, 这极大提高了排雷工作的准确度与安全性。本文综述有关文献, 对利用蜜蜂进行地雷探测的研究

进行简要概述。

1 蜜蜂探测地雷的机制

1.1 蜜蜂的体毛静电吸附

蜜蜂的身体上有分枝状的绒毛, 这些毛发可以产生静电, 使它们成为化学和生物颗粒非常有效的收集器^[2]。一群蜜蜂每天进行数万次觅食, 在这些觅食飞行中, 蜜蜂与大多数环境介质(如空气、水、植物和土壤)直接接触, 并在此过程中遇到气态、液态和颗粒形式的污染物, 这些污染物吸附在蜜蜂的毛发上而被带回蜂巢^[3]。蒙大拿大学(University of Montana)和其他研究人员30年的工作表明, 蜜蜂可以有效快速地筛查大面积区域是否存在各种化学污染物以及暴露于这些化学物质的影响。因此, 利用蜜蜂对多种介质(空气、土壤、水和植被)和化学形式(气体、液体和颗粒)进行采样是可行的^[2]。

基金项目: 江苏特色畜禽产业技术体系(JATS[2022]503); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助(CARS-44)
通讯作者: 吉挺, E-mail: tji@yzu.edu.cn

1.2 蜜蜂的嗅觉

地雷的外壳材质有很多种,但只有金属材质可被金属探测仪发现。除基于金属外壳的探测外,大约90%的地雷使用2,4,6-三硝基甲苯(2,4,6-trinitrotoluene)作为主要材料,它泄漏在环境中转化而成的常见副产品2,4-二硝基甲苯(2,4-dinitrotoluene)具有较高的蒸汽压,通常可在地雷附近被探测到^[3]。由于2,4-DNT的蒸汽压比TNT高两个数量级(即在148°C时为6而不是20 ppbv^[4]),且2,4-DNT产生的蒸汽量更高^[5-7]。因此不论地雷的外壳材质如何变化,附近的2,4-DNT都可成为排雷时的有力依据。

蜜蜂的嗅觉十分发达,Macdonald等研究表明,蜜蜂可以检测到万亿分之一(Parts per trillion, ppt)级的蒸汽^[8]。2001年,美国空军研究实验室(AFRL)和Bromenshenk等人以十亿分之一(Part per billion, ppb)和万亿分之一(ppt)的蒸汽浓度计算,发现蜜蜂监测蒸汽浓度假阳性的概率为1.0%~2.5%,假阴性的概率小于1%^[2]。同时AFRL还预测,如果蜜蜂数量足够多,检测阈值可能会更低^[2]。2003年Filipi等人证实了蜜蜂能在一堆化学物质中准确分辨出2,4-DNT的气味,也明确了蜜蜂拥有在开阔的野外田地寻找不同浓度2,4-DNT的能力^[2]。

1.3 蜜蜂的学习与记忆

蜜蜂的学习能力很强,可以通过类似于训犬的模式训练蜜蜂探测地理。如在蜂箱附近的糖水觅食器周围放置含有爆炸物气味的气味源,将糖水当作寻找到爆炸物气味的奖励,帮助蜜蜂建立起爆炸物气味与食物奖励之间的联系,使蜜蜂在脱离糖水喂食器后的自主觅食活动中也能主动寻找爆炸物气味^[3]。但是一旦失去食物奖励机制,蜜蜂也可能会放弃寻找爆炸物,转而采集自然界中的其他食物来源^[9]。

2 检测爆炸物存在的方法

在利用蜜蜂探测爆炸物分子之前,远程爆炸物气味追踪技术通过收集监测点的空气与灰尘,由嗅探犬评估监测点是否存在爆炸物^[10]。2003~2007年间,Gillanders等人利用有机半导体为痕量爆炸物传感器监测爆炸物,为痕量爆炸物检测提供了一种新的方法^[11]。富含电子的聚合物可以很容易地将光激发的电子提供给不含电子的分子,包括许多爆炸物种类,如TNT^[10]。2017年Gillanders等人通过光谱仪或光电二极管监测爆炸物与聚合物接触时的荧光淬灭,以表明

爆炸物的存在^[12]。

上述爆炸物检测方法都需要接触性采样后,将样品送至实验室检测,这样的检测过程增加了排雷过程的时间和金钱成本,而且从便携性和复杂性来考虑,也不太适合现场监控。因此,人们开始关注便携式、低成本且可靠的检测设备开发^[5]。

2010年,Caron等人开发了一种基于 π 共轭荧光材料与爆炸性蒸汽相互作用能力的光学器件^[5],该仪器能够感应到棉花上被稀释过的痕量TNT残留。该仪器优化了探测器的空气收集,不会被空气中的其他溶剂干扰。它对爆炸物的感应极为灵敏,体积便携,不仅能够海关或机场等地探测可疑行李,也能对埋藏未爆弹药的场所进行严谨探测。但它所能探测的爆炸物种类少,有待扩增。

空气采样是爆炸物检测中最常见的选择。2003年,Schulte-Ladbeck等人在研究三氧化三丙酮(triacetonetriperoxide)等爆炸物的检测和鉴定时发现,利用气体洗涤瓶对大空气量进行固相萃取,可直接在空气中对高蒸汽压炸药进行取样^[13],但这种方法并不适合一些人类无法进入的地区。

2018年,利用蜜蜂在飞行过程中体毛会附着环境粒子并将它们带回蜂巢的能力,Gillanders团队采用了一种被动的方法,让蜜蜂在雷区自由觅食,环境中存在的微量爆炸物粘附在蜜蜂身上,蜜蜂将爆炸物沉积在蜂巢入口的吸收性预聚器上,由荧光聚合物传感器分析^[10]。

2022年,Filip教授团队将预浓缩器放在蜂群的入口,以收集蜜蜂觅食归来所携带的分子。通过加热预浓缩器,使其在100°C下重新释放储存的炸药分子。释放的炸药分子与传感器膜相互作用,导致光致发光的熄灭。通过发光的化学传感器监测光致发光强度以检测预浓缩器中释放的分子的存在。最终结果显示,觅食归来的蜜蜂身体上携带有蜂群的爆炸物,表明该区域存在爆炸物污染,应进行主动搜索调查^[11]。

3 确定地雷精准位置的方法

3.1 摄像机追踪

蜜蜂探测地雷的主要缺点是缺乏在飞行过程中精确定位和跟踪蜜蜂的方法^[1]。2002年,蒙大拿大学研究人员使用摄像机录像对试验区域蜜蜂进行监测,借助视频分析软件,将彩色的画面转换成黑白的,并将画面中移动的物体(蜜蜂)用红色框标出,并对移动物体的数量计数^[3]。但视频设备在使用时并不便利,

设备分辨率与镜头所容纳的拍摄范围会导致结果不一定准确实用,并且进入雷区安装视频设备的行为并不安全。

2018年 Avramović 等人在调查可能受地雷污染的区域时,使用一种计算机视觉算法,在多个包含飞行蜜蜂的视频序列中检测和跟踪运动物体。但无人机的存在对蜜蜂来说是入侵性质的,想要不干扰蜜蜂的正常飞行,无人机必须增加飞行高度。与此同时,无人机所能记录到的蜜蜂飞行的画面就变得更远,视频里的蜜蜂也会变得模糊、纹理不清。由于蜜蜂飞行速度快,飞行时翅膀振动所留下的阴影与视频背景里的草木等也会对后期的观察造成干扰。经过预处理的视频可以侦测到原先视频帧中难以确定位置的蜜蜂。但这必须是在背景静止、前景/背景对比度好、视频分辨率足够的情况下,跟踪算法才可以成功实现^[14]。

2021年, Stojnic 等人利用合成视频序列对卷积神经网络模型进行训练,改进了人造物体和背景之间的对比度。同时基于 CNN 的方法,在合成视频上训练,大幅度增加了无人机录制视频中飞行蜜蜂的检测准确度^[15]。

2022年, Filipi 教授团队用无人机安装的摄像机监测自由飞翔的蜜蜂,用视频分析法检测蜜蜂并建立蜜蜂检测的空间地图。结果显示,蜜蜂倾向于花更多的时间在地雷附近,而地雷是 TNT 气味的来源。地雷附近的蜜蜂探测数仍然比框架的其他部分高几倍,使它们成为地雷存在的有力线索,提供了良好的地雷定位^[1]。

3.2 激光探测

除了视觉与摄像设备外,激光探测功能也能有效绘制一个地区的蜜蜂丰度。激光雷达是一种遥感技术,它使用激光,就像声纳使用声音或雷达使用无线电波一样^[2]。2002年,桑迪亚国家实验室研究证明了直接探测激光雷达仪器对蜜蜂的探测能力。桑迪亚国家实验室(Sandia National Laboratories)的早期研究也已经证明激光雷达系统可以看到蜜蜂^[2]。目前,利用蜜蜂探测地雷的大部分研究都使用激光雷达技术。早在2003年,蒙大拿州立大学(Montana State University)和美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration)就加入了激光探测和测距(Light Detection and Ranging)技术的演示^[2]。

通过使用激光雷达仪器向需要探测蜜蜂丰度的地区发射激光脉冲,激光检测到蜜蜂的散射光,被反射

回探测器。仪器就能根据激光脉冲和返回信号来测量蜜蜂与雷达之间的距离,以此来确定范围内是否存在蜜蜂。通过绘制仪器提供的蜜蜂的距离与坐标,就能得到蜜蜂的丰度及地雷的埋藏地点。

然而, Shaw 等指出,直接探测激光雷达不能区分蜜蜂散射的信号和其他来源如植被散射的信号,并指出需要一种针对蜜蜂的探测方法^[16,17]。与该方法同样受局限的还有 Bajić 等使用热红外成像获得蜜蜂空间图的方法^[18]以及 Brydegaard 等荧光 LiDAR 昆虫检测技术^[19]。它们都需要特殊的成像技术,不仅价格昂贵、耗时较长,还可能干扰蜜蜂的正常行为。

2006年, Hoffman 等人提出了一种直接探测激光雷达仪器,它使用脉冲激光源,可用于测绘蜜蜂的空间密度。脉冲激光器的脉冲重复频率大于与蜜蜂移动翅膀的散射光导致的调制信号相关的奈奎斯特频率^[20],因此可以在一个特定的范围内寻找调制的振翅信号,从而产生范围分辨的蜜蜂特定检测^[16]。这种直接探测的激光雷达,摆脱了需要给测试地修剪草坪来区分蜜蜂与环境返回信号的困局,有效区分了蜜蜂的返回信号与环境(如植物)的返回信号的区别,使仪器绘制的蜜蜂丰度更加准确。

4 总结

虽然使用蜜蜂进行排雷也有一定的缺点,如蜜蜂的排雷工作很容易受环境影响、蜜蜂不能在风雨雷电以及低温与黑夜进行排雷,但与传统方法相比,训练蜜蜂进行排雷所需要的时间短、饲养成本低、嗅觉好、搜查面积广泛且准确率高。蜜蜂体重轻,不会触发地雷,人类可以在雷区外进行观测,大大提高了排雷工作的安全性。同时,蜜蜂还能进入人类与大型动物进不去的场地,即使有障碍物,但随着激光雷达仪器的发展,环境的遮挡已经不再是排雷的负担。在使用蜜蜂进行排雷工作的同时,还能为冲突后地区的养蜂人带来额外收益。

参考文献

- [1] Filipi J, Stojnić V, Muštra M, et al. Honeybee-based biohybrid system for landmine detection [J]. Science of the Total Environment, 2022, 803: 150041.
- [2] Bromenshenk J, Henderson C B, Seccomb R A, et al. Can honey bees assist in area reduction and landmine detection [J]? The Journal of Conventional Weapons Destruction, 2003, 7: 24-27.
- [3] Rodacy P J, Bender S, Bromenshenk J, et al. Training and deployment of honeybees to detect explosives and other agents of harm [J]. SPIE Proceedings, 2002, 4742: 1-8.
- [4] Pella P A. Measurement of the vapor pressures of tnt, 2,4-dnt,

- 2,6-dnt, and egdn [J]. The Journal of Chemical Thermodynamics, 1977, 9(4): 301-305.
- [5] Caron T, Guillemot M, Montméat P, et al. Ultra trace detection of explosives in air: development of a portable fluorescent detector [J]. Talanta, 2010, 81(1-2): 543-548.
- [6] Jenkins T F, Leggett D C, Miyares P H, et al. Chemical signatures of TNT-filled land mines [J]. Talanta, 2001, 54(3): 501-513.
- [7] Furton K G, Myers L J. The scientific foundation and efficacy of the use of canines as chemical detectors for explosives [J]. Talanta, 2001, 54(3): 487-500.
- [8] Gibson J M, Lockwood J R. Alternatives for landmine detection [M]. RAND Corporation, 2003.
- [9] Grüter C, Moore H, Firmin N, et al. Flower constancy in honey bee workers (*Apis mellifera*) depends on ecologically realistic rewards [J]. Journal of Experimental Biology, 2011, 214(8): 1397-1402.
- [10] Gillanders R N, Glackin J M E, Filipi J, et al. Preconcentration techniques for trace explosive sensing [J]. Science of the Total Environment, 2019, 658: 650-658.
- [11] Sohn H, Sailor M J, Magde D, et al. Detection of nitroaromatic explosives based on photoluminescent polymers containing metalloles [J]. Journal of the American Chemical Society, 2003, 125(13): 3821-3830.
- [12] Gillanders R, Samuel I, Turnbull G. A low-cost, portable optical explosive-vapour sensor [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2017, 245: 334-340.
- [13] Schulte-Ladbeck R, Karst U. Determination of triacetone triperoxide in ambient air [J]. Analytica Chimica Acta, 2003, 482(2): 183-188.
- [14] Avramović A, Pilipović R, Stojnić V, et al. Honeybee video-tracking for explosive detection [C]. International Symposium Mine Action, 2018: 44-48.
- [15] Stojnić V, Risojević V, Muštra M, et al. A method for detection of small moving objects in UAV videos [J]. Remote sensing (Basel, Switzerland), 2021, 13(4): 653.
- [16] Hoffman D S, Nehrir A R, Repasky K S, et al. Range-resolved optical detection of honeybees by use of wing-beat modulation of scattered light for locating land mines [J]. Applied Optics, 2007, 46(15): 3007-3012.
- [17] Shaw J A, Seldomridge N L, Dunkle D L, et al. Polarization lidar measurements of honey bees in flight for locating land mines [J]. Optics Express, 2005, 13(15): 5853-5863.
- [18] Bajić S Ć, Bajić M, Kezic N. Thermal infrared signatures of the bees as potential biosensors for explosive detection [C]. Proceedings of the Int. Conf. Requirements and Technologies for Detection, Removal and Neutralization of Landmines and UXO, 2003: 15-18.
- [19] Brydegaard M, Guan Z, Wellenreuther M, et al. Insect monitoring with fluorescence lidar techniques: feasibility study [J]. Applied Optics, 2009, 48(30): 5668-5677.
- [20] Oppenheim A V, Willsky A S. Signals and Systems [M]. Askvenkat, 2004. 📖

(上接第55页)

业协会可以鼓励与引导蜂农改造升级蜂业相关配套生产设备,建设智慧蜂业、数字蜂业,加强蜂业生产各个环节信息自动采集、数据分析和监测预警功能,使用数字蜂箱、配套专业环境监测仪器等智能设备,推动蜂业自动化水平。

3.3 政府相关部门切实履行职能

政府在遇到重大突发公共卫生事件的特殊背景下,应当为蜂农办理特许通行证,简化审批手续,帮助蜂农解决转场问题。同时,建议政府在地方推动设立专业养蜂合作社,蜂农集体入股合作社,统一进行收购,收购所得收入对入股蜂农进行分红;并对合作社购置养蜂生产物资、专业特种设备以及运输车辆等进行补贴,减轻蜂农个体经济负担。再者,建议政府设立蜂业应急生产物资储备机制,由相关农业部门进行管理,以县为单位,当地蜂业龙头企业、合作社以及个体蜂农按一定比例出资建设应急物资储备配套设施,由此提升地方蜂业抗风险能力。最后,政府要落实主管部门责任,建立与蜂农间的信息互通、高效协同与紧急预警机制,做好信息收集和分析研判,提升

对蜂业的信息服务能力。必要时争取地方金融政策,为有需要的蜂农提供贷款等资金支持,助力蜂农渡过资金紧张时期。

3.4 生产资料供应商保障物资供应

生产资料商应畅通与蜂农间的销售渠道,保障生产资料供销联系畅通,并做好生产资料运输畅通工作,在遇到重大突发公共卫生事件时可寻求政府帮助。同时,生产资料商要坚持自主创新,提升生产资料的科技水平,如发展数字化、信息化、智能化的蜂业相关高科技设备,从而提升养蜂业的抗风险能力。

参考文献

- [1] 陈金祥.我国地方政府突发公共卫生事件应急管理机制探究——以沈阳市为例[D].沈阳:沈阳师范大学,2011.
- [2] 刘泽照.突发事件应急管理中的官员避责行为及纠治[J].中国行政管理,2021,431(05):138-145.
- [3] 汉中市统计局.汉中市第七次全国人口普查主要数据公报(第一号)[EB/OL].http://www.hanzhong.gov.cn,2021-05-23.
- [4] 席桂萍.中国养蜂业国内支持政策研究[D].北京:中国农业科学院,2014. 📖