



周晓辉, 博士, 研究员, 上海市公共卫生临床中心实验动物部主任, 上海市新发与再现传染病研究所副所长、感染动物模型课题组PI。复旦大学博士毕业后曾在加拿大达尔豪西大学、美国托马斯杰弗逊大学、宾夕法尼亚大学作博士后或研究学者。至今在 *Nature*、*Cell Death Differ*、*PLoS Pathog* 等国内外专业期刊发表论文 50 余篇。申请国家发明专利 4 项 (授权 1 项), 获上海市优秀发明选拔赛银奖 2 项。主持及承担国家自然科学基金项目、国家重点基础研究发展计划、国家十三五重大专项、国家重点研发计划、上海市自然科学基金、上海市科学技术委员会实验动物专项等项目。同时担任中国实验动物学会动物实验生物安全委员会副主任委员、实验动物标准化委员会委员, 上海市实验动物学会常务理事、生物安全专业委员会主任委员, *Animal Model Exp Med* 和《中国比较医学杂志》副主编、*Front Microbiol* 客座副主编、《实验动物与比较医学》常务编委等职务。

实验动物身份识别与追踪技术在生物安全实验室的应用前景

陈丽香, 秦波音, 杨 华, 徐春华, 彭秀华, 李 顺, 周晓辉

(上海市公共卫生临床中心, 上海 201508)

[摘要] 生物安全实验室的有效、安全管理是保障国家生物安全的重要环节之一。作为生物医学研究最广泛的材料之一, 实验动物被大量应用于各类感染相关的生物安全实验研究中, 而感染性动物实验必须在动物生物安全实验室中开展。在动物生物安全实验室中, 实验动物及动物实验相关的风险评估与控制至关重要。通过无线追踪技术实现实验动物身份识别及可追溯性是未来动物生物安全实验室风险控制与管理的重要手段之一。本文对实验动物身份识别及追踪技术进行了概括, 并描述了无接触识别技术尤其是无线射频识别技术在实验动物生物安全管控中的应用前景, 可为相关从业人员更好地应用实验动物身份识别与追踪技术进行生物安全管控提供参考。

[关键词] 生物安全; 实验动物; 可追踪技术; 身份识别

[中图分类号] Q95-33; R-332 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1674-5817(2022)02-0089-06

Application Prospect of Identification and Traceability Technology of Laboratory Animals in Biosafety Laboratory

CHEN Lixiang, QIN Boyin, YANG Hua, XU Chunhua, PENG Xiuhua, LI Shun, ZHOU Xiaohui

(Shanghai Public Health Clinical Center, Shanghai 201508, China)

Correspondence to: ZHOU Xiaohui, E-mail: zhouxiaohui@shaphc.org.cn

[ABSTRACT] Effective management of laboratory biosafety plays one of the most important roles in the national biosafety system. Laboratory animals have been widely used in the life science research field, including infection animal experiments, which have to be done in the animal biosafety laboratory (ABSL). The risk assessment and control related to laboratory animals and animal experiments are the most important affairs in ABSL, and the identification and traceability of laboratory animals detected by wireless tracking technology represent a developing tendency in ABSL management. From the perspective of biosafety, this paper summarized the development of laboratory animal identification and traceability

[基金项目] 上海市科学技术委员会科技计划项目子课题: 生物安全实验室实验动物信息可追溯系统应用评价研究(21140900202); 上海市科学技术委员会实验动物研究领域项目(19140905300)

[作者简介] 陈丽香(1988—), 女, 硕士, 主要从事实验动物学及细胞死亡通路研究。E-mail: xiaripaomo@126.com

[通信作者] 周晓辉(1973—), 男, 研究员, 从事实验动物学、病原生物学研究。E-mail: zhouxiaohui@shaphc.org.cn

technology, and described the application prospect in ABSL management of non-contact identification technology, especially radio frequency identification technology, which can provide reference for relevant practitioners to use the identification and traceability technology of experimental animals for biosafety control.

[Key words] Biosafety; Experimental animals; Traceability technology; Identification

生物安全实验室的有效安全管理是保障国家生物安全的重要环节之一。生物安全实验室内实施有效的生物安全管控已是国家生物安全保障的重要组成部分。在生物安全实验室中,实验动物常被用于病原体感染机制等生物医学研究,以及疫苗与药物评价等诸多科学实验,是保障人类健康、安全的特殊试验品^[1]。其中,动物生物安全实验室应当加强对实验动物的管理,防止实验动物逃逸,并且对使用后的实验动物应进行无害化处理,实现实验动物可追溯,禁止将使用后的实验物流入市场^[2]。因此,针对实验动物进行有效、便捷的标记是保障实验动物质量、顺利开展动物实验相关的科学研究和实现实验动物可追溯性管理的基础^[3],也是实验动物生物安全管理的重要手段之一。

实验动物标记方法主要包括染色法、耳标法等传统方法,以及以二维码和无线射频识别技术(radio frequency identification, RFID)为代表的电子标记技术。其中RFID作为物联网的前端,具有信息量大、无接触识别等优点^[4-5],目前已被应用于动物饲养管理、样品跟踪分析等过程。然而在动物生物安全实验室中尚未见应用RFID进行实验动物生命活动全过程跟踪的报告。本文对生物安全实验室中动物管理需求及动物识别标记技术的研究现状进行概述,提示RFID识别技术无需人工干预并可对实验动物进行实时跟踪,从而在动物生物安全实验室的动物可追溯管理中具有重要的应用前景,值得进一步探索推广。

1 生物安全与实验动物管理需求

生物安全是指国家有效防范和应对危险生物因子及相关因素威胁,生物技术能够稳定健康发展,人民生命健康和生态系统相对处于没有危险和不受威胁的状态,生物领域具备维护国家安全和持续发展的能力。生物安全实验室是一种特殊的科学研究实验室,该类实验室中主要从事与病原微生物(毒)种和样本有关的研究、教学、检测、诊断等活动,按操作病原的危害等级和防护水平,可分为BSL-1、BSL-2、BSL-3和BSL-4四级^[6]。由此可知,生物领域内实施有效的

生物安全管控已是保障国家生物安全的重要环节。

我国的生物安全实验室建设起步相对较晚^[7-8]。在20世纪80年代后期,我国建成了第一座初步具有生物安全三级防护水平的实验室(即BSL-3),但当时的生物安全实验室建设和管理尚没有统一的标准^[9]。2003年严重急性呼吸综合征(severe acute respiratory syndrome, SARS)疫情暴发以来,生物安全实验室的管理问题开始引起我国政府及相关职能部门的高度重视^[7],政府层面陆续修订或颁布了一系列的要求及法规标准,包括《病原微生物实验室生物安全管理条例》、《实验室生物安全通用要求》、《动物病原微生物名录》、《人间传染的病原微生物名录》、《中华人民共和国传染病防治法》;此外,2016年国家发改委、科技部制定了生物安全实验室体系建设规划;2017年国家卫生和计划生育委员会发布了卫生行业的《病原微生物实验室生物安全通用准则》,对管理和技术要求均作了进一步的明确^[10]。这些法规标准的发布有力推进了实验室感染防控力度的加强,降低了实验室事故发生率,标志着我国步入了法制化管理病原微生物实验室的轨道。尤为重要的是,2020年我国在生物安全领域的第一则法律——《中华人民共和国生物安全法》正式颁布(2021年4月15日开始施行),标志着我国生物安全实验室的建设和管理已经走向成熟阶段,该法对我国生物安全实验室的管理提出了更高的要求。

实验动物主要是指在特定标准环境下通过人工培育生长繁殖的特殊动物,常被用于生物医学探索、药物评价等诸多与生命健康息息相关的科学实验研究,是不可替代的特殊试验品^[11]。开展动物实验的生物安全实验室称为动物生物安全实验室,也分为ABSL-1、ABSL-2、ABSL-3和ABSL-4四级^[12]。为避免在动物生物安全实验室内发生动物实验危险事故,应重点关注三个方面的内容:一是应严格按照国家法律法规标准规范等要求使用实验动物。动物实验之前应了解实验拟使用的病原微生物背景,做好人兽共患病的病原污染应急预案,做好防控工作,确保人员健康、环境安全,以便实验顺利开展。二是遵循动物福利标准。

在进行动物实验研究时,尽量减少人为干预,降低对动物的伤害。三是要防止动物逃逸^[13]。《中华人民共和国生物安全法》第五章四十七条指出病原微生物实验室应当在实验动物方面加强管理和采取防范措施,严格控制实验动物逃逸和遵照国家规定进行实验动物无害化处理,实现实验动物生命全过程可追溯;第九章第七十七条指出,如违反生物安全法规定,把使用后的实验动物流入市场的将进行相应处罚,情节严重者甚至会被依法吊销相关许可证件。由此可见,在动物生物安全实验室中防止动物逃逸、监管动物去向、实现实验动物的可追溯管理是目前实验动物生物安全领域亟需解决的问题。

2 实验动物标记技术与信息化管理现状

2.1 传统实验动物标记技术

长期以来,为了实现实验动物的准确识别,保证动物个体之间不被混淆,研究人员采用了多种传统标记方法。啮齿类动物实验常用的标记方法主要有染色法、剃毛法、耳标法、仪器尾部号码纹身标记法、耳孔法、断趾法等。但传统方法有一定的弊端,如染色法主要用于大鼠、小鼠和兔,使用的染料可能存在潜在毒性,易对动物健康及实验结果造成影响^[1, 3];剃毛法主要用于中大型动物如犬、兔,该方法操作简单,但需要抓取保定,且标记时效短,只能标记少量动物;耳标法适用于多种动物且成本低、可标记数量大的动物群体,但该方法也需要进行动物抓取保定,且耳标存在丢失的风险,此外有研究表明长期佩戴金属耳标易引起耳部炎性反应等^[14];纹身法需要对动物进行麻醉,使用的染料也可能存在毒性;耳孔法一般适用于啮齿类小动物如大鼠、小鼠,其对动物有一定伤害,易引起应激反应,另外标记或识别动物时均需要进行动物抓取,工作量大,且需要提前绘制图谱并进行培训才可有效识别;断趾法会导致动物疼痛和伤害,违反动物福利伦理要求,已不被推荐使用^[1]。

非人灵长类动物因与人类高度相似,已被广泛应用于疫苗研究和药物评价实验中。传统的灵长类动物标记方法主要有染色法、套圈法、剃毛法。但毛发染色可能引起动物过敏,剃毛法和染色法的可识别时间都较短,通常不足一个月,限制了它们的使用范围;而套圈法是指给动物佩戴项圈以进行标记,但项圈的长期佩戴会影响动物行为及健康^[1]。

综上所述,传统的标记方法识别工作量大,而且

需要实验人员花费大量时间方可完成实验对应的动物所有信息资料的录入,容易产生误写、误记现象,影响实验结果的准确性和可追溯性,已无法适应动物生物安全实验室中应用场景的发展需求。

2.2 自动识别技术研究进展及在实验动物领域的应用

当前,物联网建设已成为国家未来发展战略之一。在物联网整个产业链中,前端的数据采集与识别技术是实现物联网的核心关键技术。目前在物联网相关的识别技术中,二维码和RFID作为自动识别及溯源系统建设的两大主流技术已经被广泛应用。条码识别技术在20世纪80年代末期开始在我国得到一定的推广^[15],其中的二维码技术逐渐应用于实验动物领域,例如在动物耳标上采用条形码进行动物编号标记^[3]等,通过专用识读器读取二维码信息,最终与中央数据库相连,即可实现动物防疫、检疫、饲养等环节多种信息的查询,达到溯源目的。二维码技术因成本较低,目前已被广泛应用,但长时间使用二维码会存在识读困难的情况,且二维码无法实现无接触识别,需要借助耳标等介质,不适宜于活体编码;尤其在生物安全实验室,特别是生物安全二级以上屏障系统的动物实验室内,使用二维码标记仍无法解决工作量大、暴露风险高的问题。

随着生物技术和通信技术的发展,目前以RFID为代表的新型识别技术共存的多种技术识别体系已经在实验动物识别领域逐渐形成。RFID位于物联网的感知层,技术人员可用它随时随地通过无线电信号识别特定目标,并获取目标物体的相关信息,因此是一种非接触式的目标自动识别技术和数据采集技术^[16-17]。RFID标签因具有可读写能力、数据存储量大、经久耐用、非接触性识别、无需人工干预、环境适应能力强等优点,与现在被广泛应用的条形码相比,优势明显,已成为自动识别技术的关键之一^[3, 18]。

近年来有研究表明,RFID技术可在畜禽类动物个体行为如畜禽采食、饮水行为、产蛋行为监测方面进行有效应用^[19-20]。在实验动物的跟踪和数据采集上,RFID技术应用已有以下报道:(1)美国佛罗里达大学实验室通过RFID标记小鼠笼盒实现5万只小鼠的溯源管理工作^[20-22];(2)中国台湾麦德凯生命科学研究所用RFID标记所有的饲养室、饲养笼架及饲养笼,将RFID应用于实验动物饲养管理流程,同时也尝试将主动式RFID芯片植入实验动物体内,从而建立身份识别

系统, 进行全时间溯源^[20-22]; (3) 英国研究者借助小鼠 RFID 标签标记技术和红外视频采集技术建立了对群体内小鼠个体行为和位置进行实时观察和自动分析的群体笼盒分析系统 (home cage analysis, HCA)^[23-24]; (4) 加拿大研究者通过将 RFID 标签植入小鼠颈部皮下, 并结合体质量测量仪器, 建立了可实现多只小鼠体质量测量的自动系统^[25]; (5) 中国科学院半导体研究所针对动物体温测量, 设计制作了一种新型温度传感器, 可嵌入 RFID 标签并植入动物体内, 同时实现目标识别和体温检测^[26]; (6) 为了进行啮齿类动物模型的行为学研究, 德国研究团队开发出 SocialScan 动物社交行为分析仪器与 RFID 标签联合使用的视频跟踪技术^[27]。此外, RFID 与地理信息系统 (geographic information systems, GIS)、全球卫星定位 (global positioning system, GPS) 相结合, 实现动物位置信息跟踪, 也是近年来在电子标记和信息化系统建立技术方面的新突破^[28]。如果在生物安全实验室中对实验动物进行 RFID 电子标记, 每个动物都相当于一个记录单元, 它的位置信息均可被实时监控, 通过系统与手机关联, 下载系统 APP 可以随时无接触查看动物移动轨迹, 如发生变化, 可提示饲养人员该动物可能发生逃逸, 应及时进行紧急处理。因此, 基于 RFID 等的自动识别技术, 在动物生物安全实验室中有广泛的应用前景。

3 自动识别技术在动物生物安全实验室内的应用前景

动物生物安全实验室, 特别是生物安全 II、III、IV 实验室均为负压屏障环境, 穿戴相应个人防护装备的实验人员操作动物时相对难度更大, 实验室内动物实验活动一旦未能有效防范危险, 与一般实验室相比, 潜在风险和危害巨大, 将可能造成严重的人员暴露及环境污染。为了进行有效的生物安全防控, 实验室从业人员需要预先对实验过程中可能存在的各种风险进行评估, 并提前采取防控措施, 最终达到减少生物安全事件发生以及降低由此带来的损失的目标^[10, 29]。在动物生物安全实验室中, 动物相关风险识别的主要环节有以下几点: (1) 动物实验过程中感染性动物逃逸, 导致污染扩散; (2) 动物抓伤或咬伤饲养或实验人员, 导致人员感染; (3) 动物实验废弃物及感染性动物尸体处理不当, 导致环境污染及人员感染^[30-31]。

在动物生物安全实验室内, 对实验动物进行 RFID

标记结合数据采集及分析系统后, 可实现无接触识别、动物信息自动采集; RFID 结合实时定位技术, 可实时监测动物位置。当发生动物逃逸时, 信息系统可以跟踪动物逃逸位置, 有利于防控, 能实现及时捕捉, 并且通过系统数据分析可获取动物所有生命信息, 得知逃逸动物是否感染病原微生物, 便于研究人员制定相应的应急处理措施, 有效控制传染, 降低危害。另外, 动物生物安全实验室内生物安全暴露风险较高, 频繁的人员干预不仅不利于生物安全管控, 还会引起动物应激反应。运用 RFID 等无接触识别技术可以实现生物安全实验室中实验动物的身份识别与追踪, 可以减少人员与动物的接触操作, 降低抓咬伤的发生率。此外运用 RFID 等进行动物标记, 建立动物全生命过程监控系统, 可跟进监督动物无害化处理过程, 防止污染物泄露^[11-12], 并且可以实现动物尸体个体化溯源追踪和全流程管理, 减少尸体处理过程中的不确定因素, 避免病原体扩散。未来在生物安全实验室内进行动物实验时, 通过 RFID 技术对动物进行标记, 每个动物都拥有独有的数字身份, 同时基于实时定位的数据信息系统实现动物位置跟踪, 实现数据采集的自动化及信息可追溯, 将是实现生物安全有效管理的重大突破。

此外, 除了二维码技术和 RFID 技术, 2020 年中国研究团队在《iScience》上报告了一套较为完整的动物面部个体识别跟踪系统: Tri-AI^[32]。未来如果该面部识别系统应用于猕猴等灵长类实验动物或者豚鼠、兔、犬等动物生物安全实验室中, 也将大大推进实验动物可追溯系统的建立和生物安全管理。

4 结语与展望

本文对目前的动物标记和识别方法进行了初步分析, 从生物安全角度阐述了自动识别技术及可追溯系统建立的必要性。2020 年国家生物安全法出台, 实验室生物安全问题日益受到社会的广泛关注。在生物科学研究过程中, 对实验动物引入、实验、无害化处理等环节进行准确、高效追踪和管理, 将是解决动物实验生物安全问题的有力保障。

目前自动识别技术和可追溯技术已开始被应用于实验动物领域, 尤其是 RFID 电子标签因其可实现从动物出生到死亡的全过程追踪, 并拥有编码唯一性、可实现无障碍阅读、数据存储量大、识别间距远、读取率高、防干扰能力较强、可实现个体编码等特点^[15], 已成为国内外自动标记研究及推广的焦点。未来以

RFID 技术为识别基础, 融合动物体征感应、体质量测量、实时定位分析等技术的可追溯系统的建立将是生物安全实验室保障安全管理的关键着力点。总之, 以 RFID 等为代表的新型标记技术可实现实验动物背景信息、实验信息、无害化处理信息等综合管理可追溯, 在实验动物领域具有广阔的应用前景。

[作者贡献]

陈丽香: 负责文章的文献查阅和整理, 文章撰写与修改;

秦波音: 负责部分文献资料查阅, 讨论;

杨华: 负责生物安全相关知识讨论, 梳理;

徐春华: 参与文章思路及整体内容的讨论;

彭秀华: 参与文章思路及整体内容的讨论;

李顺: 提供文章整体内容的修改建议;

周晓辉: 对全文内容进行修改指导。

[利益声明] 所有作者均声明本文不存在利益冲突。

[参考文献]

- [1] 史光华, 张晓迪, 吕龙宝, 等. 实验动物机构标记系统的比较研究[J]. 实验动物科学, 2017, 34(3): 55-60, 65. DOI: 10.3969/j.issn.1006-6179.2017.03.012.
- [2] «中华人民共和国生物安全法»摘录: 病原微生物实验室生物安全[J]. 实验动物与比较医学, 2021, 41(5):465.
- [3] DAHLBORN K, BUGNON P, NEVALAINEN T, et al. Report of the Federation of European Laboratory Animal Science Associations Working Group on animal identification[J]. Lab Anim, 2013, 47(1):2-11. DOI:10.1177/002367712473290.
- [4] KUMAR P, REINITZ H W, SIMUNOVIC J, et al. Overview of RFID technology and its applications in the food industry[J]. J Food Sci, 2009, 74(8): R101-R106. DOI: 10.1111/j. 1750-3841. 2009.01323.x.
- [5] CUI L, ZHANG Z H, GAO N, et al. Radio frequency identification and sensing techniques and their applications: A review of the state-of-the-art[J]. Sensors (Basel), 2019, 19 (18):4012. DOI:10.3390/s19184012.
- [6] 周永运, 王荣, 翟培军, 等. 实验动物与生物安全研究进展[J]. 畜牧兽医科技信息, 2015(12): 4-6. DOI: 10.3969/J. ISSN. 1671-6027.2015.12.001.
- [7] 李俊勇, 赵文红, 杨智明. 吸取 SARS 实验室感染教训预防鼠疫实验室感染发生[J]. 医学动物防制, 2006(2):85-86. DOI:10.3969/j.issn.1003-6245.2006.02.003.
- [8] 刘静, 李超, 柳金雄, 等. 高等级生物安全实验室在生物安全领域的作用及其发展的思考[J]. 中国农业科学, 2020, 053(001): 74-80. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2020.01.007.
- [9] 陆兵, 李京京, 程洪亮, 等. 我国生物安全实验室建设和管理现状[J]. 实验室研究与探索, 2012, 031(001):192-196. DOI:10.3969/j.issn.1006-7167.2012.01.055.
- [10] 王君玮. 我国实验室生物安全发展现状与趋势[J]. 中国家禽, 2010, 32(14):1-4, 8. DOI:10.16372/j.issn.1004-6364.2010.14.001.
- [11] 白殿卿. 实验猴身份自动识别、自动捕捉、电子芯片数据信息管理系统研制[J]. 中国比较医学杂志, 2011, 21(7):50-54. DOI: 10.3969/j.issn.1671.7856.2011.07.011.
- [12] 薛康宁, 李晓燕, 荣蓉, 等. 动物生物安全二级实验室实验活动管理要点探讨[J]. 实验动物科学, 2014, 31(5):42-45. DOI:10.3969/j.issn.1006-6179.2014.05.010.
- [13] MCCORMICK-ELL J, CONNELL N. Laboratory safety, biosecurity, and responsible animal use[J]. ILAR J, 2019, 60(1): 24-33. DOI:10.1093/ilar/ilz012.
- [14] BLANCHARD K T, BARTHEL C, FRENCH J E, et al. Transponder-induced sarcoma in the heterozygous p53^{+/-} mouse[J]. Toxicol Pathol, 1999, 27(5): 519-527. DOI: 10.1177/ 019262339902700505.
- [15] 易爱华, 赵晓宏, 康卫勇, 等. 条码技术发展现状及其在环保领域的应用探索[J]. 环境与可持续发展, 2014, 39(6):107-111. DOI: 10.19758/j.cnki.issn1673-288x.2014.06.028.
- [16] 曹闯乐, 于洪涛. 无线射频识别技术在物联网方向的应用[J]. 科学技术创新, 2020(22):107-108. DOI:10.3969/j.issn.1673-1328. 2020.22.064.
- [17] VOULODIMOS A S, PATRIKAKIS C Z, SIDERIDIS A B, et al. A complete farm management system based on animal identification using RFID technology[J]. Comput Electron Agric, 2010, 70(2):380-388. DOI:10.1016/j.compag.2009.07.009.
- [18] GRUDA M C, PINTO A, CRAELIUS A, et al. A system for implanting laboratory mice with light-activated microtransponders[J]. J Am Assoc Lab Anim Sci, 2010, 49(6): 826-831. DOI:10.1093/mollus/eyq030.
- [19] ISERBYT A, GRIFFIOEN M, BORREMANS B, et al. How to quantify animal activity from radio-frequency identification (RFID) recordings[J]. Ecol Evol, 2018, 8(20):10166-10174. DOI: 10.1002/ece3.4491.
- [20] 刘雄伟, 沈志敏, 魏晓锋, 等. 小鼠植入 RFID 芯片生理生化值的测定[J]. 实验动物与比较医学, 2012, 32(3):238-240. DOI:10.3969/j.issn.1674-5817.2012.03.014.
- [21] 陈懿斐, 魏晓锋, 高诚, 等. RFID 技术在实验动物行业中的应用的探讨[J]. 实验动物与比较医学, 2016, 36(1):51-53, 56. DOI: 10.3969/j.issn.1674-5817.2016.01.010.
- [22] 黄孟选, 李丽华, 许利军, 等. RFID 技术在动物个体行为识别中的应用进展[J]. 中国家禽, 2018, 40(22): 39-44. DOI: 10.16372/j.issn.1004-6364.2018.22.009.
- [23] ZELDOVICH L. RFID: untangling mutant phenotypes[J]. Lab Anim, 2016, 45(11):427-430. DOI:10.1038/labani.1146.
- [24] BAINS R S, CATER H L, SILLITO R R, et al. Analysis of individual mouse activity in group housed animals of different inbred strains using a novel automated home cage analysis system[J]. Front Behav Neurosci, 2016, 10:106. DOI: 10.3389/fnbeh.2016.00106.
- [25] NOORSHAMS O, BOYD J D, MURPHY T H. Automating mouse weighing in group homecages with Raspberry Pi micro-computers[J]. J Neurosci Methods, 2017, 285:1-5. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2017.05.002.
- [26] 伏仕波, 肖宛昂, 毛文字, 等. 一种面向植入式 RFID 标签的温度传感器[J]. 微电子学, 2019, 49(6): 772-776, 782. DOI: 10.13911/j.cnki.1004-3365.190064.
- [27] PELEH T, BAI X S, KAS M J H, et al. RFID-supported video tracking for automated analysis of social behaviour in groups

- of mice[J]. J Neurosci Methods, 2019, 325:108323. DOI:10.1016/j.jneumeth.2019.108323.
- [28] 刘秀敏, 魏冬霞. RFID技术在畜牧业中的应用探析[J]. 家畜生态学报, 2020, 41(1): 78-80. DOI: 10.3969/j. issn. 1673-1182. 2020.01.016.
- [29] ROJO-MOLINERO E, ALADOS J C, DE LA PEDROSA E G G, et al. Safety in the microbiology laboratory[J]. Enferm Infecc Microbiol Clin, 2015, 33(6):404-410. DOI:10.1016/j.eimc. 2014.06.014.
- [30] 胡凯, 马宏, 贾松树, 等. 实验室生物安全风险评估的现状与思考[J]. 医学动物防制, 2020, 36(9):817-820. DOI: 10.7629/yxdwfwz 202009001.
- [31] 周淑佩, 田枫, 贾光. 实验动物从业人员的职业安全及个人防护[J]. 实验动物科学, 2013, 30(1): 50-54. DOI: 10.3969/j. issn.1006-6179.2013.01.014.
- [32] GUO S T, XU P F, MIAO Q G, et al. Automatic identification of individual Primates with deep learning techniques[J]. iScience, 2020, 23(8):101412. DOI:10.1016/j.isci.2020.101412.
- (收稿日期:2021-11-27 修回日期:2022-02-10)
- (本文编辑:张俊彦,周晓铎)

《中华人民共和国生物安全法》：病原微生物实验室生物安全

《中华人民共和国生物安全法》由中华人民共和国第十三届全国人民代表大会常务委员会第二十二次会议于2020年10月17日通过，自2021年4月15日起施行。

第五章 病原微生物实验室生物安全

第四十二条 国家加强对病原微生物实验室生物安全的管理，制定统一的实验室生物安全标准。病原微生物实验室应当符合生物安全国家标准和要求。从事病原微生物实验活动，应当严格遵守有关国家标准和实验室技术规范、操作规程，采取安全防范措施。

第四十三条 国家根据病原微生物的传染性、感染后对人和动物的个体或者群体的危害程度，对病原微生物实行分类管理。从事高致病性或者疑似高致病性病原微生物样本采集、保藏、运输活动，应当具备相应条件，符合生物安全管理规范。具体办法由国务院卫生健康、农业农村主管部门制定。

第四十四条 设立病原微生物实验室，应当依法取得批准或者进行备案。个人不得设立病原微生物实验室或者从事病原微生物实验活动。

第四十五条 国家根据对病原微生物的生物安全防护水平，对病原微生物实验室实行分等级管理。从事病原微生物实验活动应当在相应等级的实验室进行。低等级病原微生物实验室不得从事国家病原微生物目录规定应当在高等级病原微生物实验室进行的病原微生物实验活动。

第四十六条 高等级病原微生物实验室从事高致病性或者疑似高致病性病原微生物实验活动，应当经省级以上人民政府卫生健康或者农业农村主管部门批准，并将实验活动情况向批准部门报告。对我国尚未发现或者已经宣布消灭的病原微生物，未经批准不得从事相关实验活动。

第四十七条 病原微生物实验室应当采取措施，加强对实验动物的管理，防止实验动物逃逸，对使用后的实验动物按照国家规定进行无害化处理，实现实验动物可追溯。禁止将使用后的实验动物流入市场。病原微生物实验室应当加强对实验活动废弃物的管理，依法对废水、废气以及其他废弃物进行处置，采取措施防止污染。

第四十八条 病原微生物实验室的设立单位负责实验室的生物安全管理，制定科学、严格的管理制度，定期对有关生物安全规定的落实情况进行检查，对实验室设施、设备、材料等进行检查、维护和更新，确保其符合国家标准。病原微生物实验室设立单位的法定代表人和实验室负责人对实验室的生物安全负责。

第四十九条 病原微生物实验室的设立单位应当建立和完善安全保卫制度，采取安全保卫措施，保障实验室及其病原微生物的安全。国家加强对高等级病原微生物实验室的安全保卫。高等级病原微生物实验室应当接受公安机关等部门有关实验室安全保卫工作的监督指导，严防高致病性病原微生物泄漏、丢失和被盗、被抢。国家建立高等级病原微生物实验室人员进入审核制度。进入高等级病原微生物实验室的人员应当经实验室负责人批准。对可能影响实验室生物安全的，不予批准；对批准进入的，应当采取安全保障措施。

第五十条 病原微生物实验室的设立单位应当制定生物安全事件应急预案，定期组织开展人员培训和应急演练。发生高致病性病原微生物泄漏、丢失和被盗、被抢或者其他生物安全风险的，应当按照应急预案的规定及时采取控制措施，并按照国家规定报告。

第五十一条 病原微生物实验室所在地省级人民政府及其卫生健康主管部门应当加强实验室所在地感染性疾病医疗资源配置，提高感染性疾病医疗救治能力。

第五十二条 企业对涉及病原微生物操作的生产车间的生物安全管理，依照有关病原微生物实验室的规定和其他生物安全管理规范进行。涉及生物毒素、植物有害生物及其他生物因子操作的生物安全实验室的建设和管理，参照有关病原微生物实验室的规定执行。

(《实验动物与比较医学》编辑部摘录)