陈丽香,李顺,杨华,等. RFID 电子标签在生物安全二级实验室实验动物中的应用安全性与有效性评价［J］. 中国比较医学杂志, 2026, 36(19): 82-89.
Chen LX, Li S, Yang H, et al. Safety and efficacy of RFID assessment of electronic tags in laboratory animals in Biosafety Level 2 (BSL-2) laboratories［J］. Chin J Comp Med, 2026, 36(19): 82-89.
doi: 10.3969/j.issn.1671-7856.2026.19.008

RFID 电子标签在生物安全二级实验室实验动物中的应用安全性与有效性评价

陈丽香,李　顺,杨　华,周晓辉*

(上海市公共卫生临床中心,上海　201508)

【摘要】　目的　在生物安全二级实验室内进行电子标签的应用,并对其安全性及功能进行评价。**方法**　通过皮下注射的方式将无线射频识别(RFID)电子标签植入到 21 只小鼠体内,并对电子标签安全性进行跟踪:标记 3、21、30、56、84 d 采集小鼠血液于抗凝管中用于血常规检测,标记 3、7、28 d 采集小鼠血清进行肝功能指标(谷丙转氨酶(ALT),天门冬氨酸转氨酶(AST))、肾功能指标(血尿素氮(UREA))检测。标记 3、7、14 d 将小鼠安乐死后采集脾脏进行免疫相关 T、B 细胞流式检测。标记 7、28 d 小鼠安乐死后采集心脏、肝脏、脾脏、肺、肾脏进行病理 HE 染色分析。此外,对 RFID 电子标签的功能进行监测:未标记前(视为 0 d)、标记 3 d、7 d、14 d、4 周、8 周、12 周、16 周进行信号采集情况及识别灵敏度情况分析。**结果**　RFID 电子标签对小鼠的生理生化指标、肝肾功能的影响并无显著差异,同时病理结果显示 RFID 电子标签植入后并未引起小鼠组织明显病变。在生物安全二级实验室内定时收集 RFID 电子标签信号,发现其负压屏蔽的系统特性并未对电子标签的灵敏度造成影响。此外,该特定实验室要求所有物资均需经过高温高压灭菌处理方可移出该系统,本研究证实,RFID 电子标签经高温高压处理后仍维持其灵敏度。**结论**　在生物安全二级实验室进行了 RFID 电子标签的安全性、有效性评价,发现电子标签可在此特殊实验环境中正常使用,这一结果为后续 RFID 电子标签在生物安全实验室的顺利应用及基于该电子标签的实验动物追溯系统的建立奠定基础。

【关键词】　RFID 电子标签;安全性;有效性;生物安全二级实验室
【中图分类号】Q95-33;R115;R-332　**【文献标识码】**A　**【文章编号】**1671-7856 (2026) 19-0082-08

Safety and efficacy of RFID assessment of electronic tags in laboratory animals in Biosafety Level 2 (BSL-2) laboratories

CHEN Lixiang, LI Shun, YANG Hua, ZHOU Xiaohui*
(Shanghai Public Health Clinical Center, Shanghai 201508, China)

【Abstract】　Objective　To evaluate the safety and functionality of radio frequency identification (RFID) electronic tags in Biosafety Level 2 (BSL-2) laboratories. **Methods**　RFID electronic tags were subcutaneously implanted into 21 mice. Tag safety was assessed longitudinally: blood samples were collected into anticoagulant-

[基金项目]上海市科委实验动物研究领域项目(21140900202)。
[作者简介]陈丽香(1988—),女,硕士,高级兽医师,研究方向: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,博士,研究员,研究方向:实验动物学、病原生物学。E-mail:zhouxiaohui@shaphc.org

containing tubes at 3, 21, 30, 56, and 84 days post-implantation for routine blood tests; serum samples were collected at 3, 7, and 28 days to assess hepatic function (alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST)) and renal function (UREA). At 3, 7, and 14 days post-implantation, mice were humanely euthanized, and spleens were harvested for flow cytometric analysis of T and B lymphocyte populations. At 7 and 28 days, post-implantation, the heart, liver, spleen, lung, and kidney were collected for histopathological examination with haematoxylin-eosin (HE) staining. RFID electronic tags functionality was concurrently assessed by evaluated signal acquisition and recognition sensitivity at baseline (day 0, pre-implantation) and at across multiple post-implantation time points: 3, 7, 14 days and 4, 8, 12, 16 weeks. **Results** Implantation of RFID electronic tags induced no statistically significant alterations in murine physiological or biochemical parameters, including markers of hepatic and renal function. Histopathological examination revealed no notable tissue lesions attributable to tag implantation. RFID electronic tags signals were reliably acquired under routine negative-pressure containment conditions within the BSL-2 facility, indicating that the laboratory's environmental shielding did not impair tag sensitivity. Furthermore, since all materials exiting the BSL-2 facility must undergo autoclaving (standard high-temperature, high-pressure sterilisation), the study confirmed that RFID electronic tags retained full functional sensitivity after autoclave treatment. **Conclusions** Evaluation of safety and effectiveness in a BSL-2 laboratory demonstrated that RFID electronic tags can be used normally in this unique experimental environment. These findings support the reliable integration of RFID technology in biosafety laboratories and provide a validated foundation for establishing RFID-based traceability systems for experimental animal.

【Keywords】 RFID electronic tags; safety; efficacy; Biosafety Level 2 laboratory

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

当前全球生物安全形势日趋复杂,生物安全已纳入我国国家安全战略体系[1]。生物安全实验室是应对传染病疫情、捍卫公共卫生安全的核心基础设施,其规范化管理与高效运作对维护国家生物安全具有决定性作用。我国已出台多项法规标准,持续完善生物安全实验室管理体系[1,2]。在生物安全实验室中,动物实验是开展病原微生物研究、疫苗研发及传染病防控策略评估等关键工作的必要环节,但现有动物标记技术存在明显不足。传统物理标记方法,如耳孔法、染色法等,不仅会给动物带来不同程度的生理创伤,干扰实验结果的准确性,而且标记的持久性与稳定性欠佳,难以契合长期实验的需求[3,4]。此外,生物安全实验室的负压屏障环境与复杂操作流程,导致动物信息实时采集、传输与整合困难,严重影响实验动物信息的系统性与可追溯性。

无线射频识别(radio frequency identification, RFID)作为物联网感知层的非接触式自动识别技术[5,6],具有编码唯一性、非接触性读取、数据存储量大、识别间距远、读取率高、防干扰能力较强等特点,同时可对动物个体信息进行编码,实现其全生命周期信息追踪[7,8]。近年来多项研究证实 RFID 技术在动物个体行为监测、实验动物管理等领域具有应用价值[9]。佛罗达大学实验室通过笼盒标识实现近 5 万只小鼠溯源管理[10]。2019 年中国科学院半导体研究所设计了嵌入 RFID 电子标签的温度传感器,标记后可同步实现目标识别和体温检测[11]。德国研究团队开发了 SocialScan 动物社交行为分析仪器与 RFID 电子标签联合使用的视频跟踪技术,应用于啮齿类动物行为学研究[12]。此外,有研究报道,RFID 与全球卫星定位、地理信息系统相结合实现动物位置信息跟踪,是近年来在电子标记和信息化系统建立的新突破[13]。此外,为提高笼内小鼠定位准确性,2024 年,有研究报道了一种基于 RFID 技术的笼内小鼠定位跟踪和行为分析系统,其通过将 RFID 读写器天线阵列板放置于饲养笼下方来实现定位跟踪,定位准确率可达 95%以上[14]。

生物安全实验室环境对动物电子标签提出了特殊要求。在标签材质方面,需具备耐高温高压的特性,以适应实验室内物品传输过程中的高压灭菌处理,确保标签在高温高压灭菌后性能依旧稳定[15]。在生物相容性和安全性方面,体内植入型标签需具备良好生物相容性,避免干扰动物生理状态与实验数据;在信号传输方面,电子标

签需具备较强信号穿透性与抗干扰能力,以适应负压屏障环境。目前,RFID 电子标签虽广泛应用于实验动物管理,但尚未针对生物安全二级实验室的负压屏障环境及物资出室必需的高温高压灭菌条件开展系统的安全性与功能有效性评价。本文将对拟应用的 RFID 电子标签开展安全性与灵敏性分析,为生物安全实验室实验动物可追溯系统的构建与应用提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 实验动物

SPF 级雌性 C57BL/6J 小鼠 37 只,6~8 周龄,体质量 18~22 g,购自上海市公共卫生临床中心实验动物部[SCXK(沪)2025-0003]。所有动物均饲养于上海市公共卫生临床中心实验动物部独立通风笼盒中[SYXK(沪)2025-0017]。温度 22~24 ℃,相对湿度 40%~70%,12 h/12 h 昼夜光照恒定,自由饮水、进食。本实验通过上海市公共卫生临床中心伦理委员会审批(公卫伦审 2021-A060-01),实验过程严格遵循 3R 原则。

1.2 主要试剂与仪器

鼠 anti-CD3-PB 抗体(558214,BD biosciences,美国);鼠 anti-CD4-APC(100516,BioLegend,美国);鼠 anti-CD8-FITC 1007062,BioLegend,美国);鼠 anti-CD19-PE-Cy5.5 抗体(115509,BioLegend,美国);丙氨酸氨基转移酶 ALT 测定试剂盒(S03030,深圳雷杜生命科学股份有限公司);天门冬氨酸氨基转移酶 AST 测定试剂盒(S03040,深圳雷杜生命科学股份有限公司);尿素测定试剂盒(S03036,深圳雷杜生命科学股份有限公司);RPMI 1640(2193336,Gibco,美国);胎牛血清(200228,Gibco,美国)。

RFID 电子标签(PM-UHF,上海品墨信息技术有限公司);标码识别机(PM-PDA45,上海品墨信息技术有限公司);流式细胞仪(BD LSR Fortessa,BD biosciences,美国);全自动血液细胞分析仪(BC-2800vet,深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司);全自动生化分析仪(Chemray 800,深圳雷杜生命科学股份有限公司);冷冻离心机(5425R,Eppendorf,德国);生物安全柜(HR40-IIA2,青岛海尔特种电器有限公司);微量加样枪(2、10、200、1 000 μL,Research plus,Eppendorf,德国);-80 ℃冰箱(DW-88L828J,青岛海尔生物医疗股份有限公司);-20 ℃冰箱(YCD-EL259,中科美菱低温科技股份有限公司,合肥)。

1.3 实验方法

1.3.1 小鼠电子标记及生化、血常规检测

实验分两组:RFID 组(RFID 电子标记,n = 21),对照组(未进行 RFID 电子标记,n = 16)。RFID 电子标签已内置在专用注射针头中,RFID 组通过小鼠,颈部皮下注射方式完成 RFID 电子标签植入。于预设时间点经眼眶静脉丛采集两组小鼠血液,一份血液收集至 EDTA 抗凝管,用于血常规检测,另一份血液以 3 000 r/min 离心 15 min,分离血清,用于肝肾功能生化检测。肝功能指标包括谷丙转氨酶(alanine aminotransferase,ALT)、天门冬氨酸转氨酶(aspartate aminotransferase,AST);肾功能指标为血尿素氮(blood urea nitrogen,UREA)。

1.3.2 苏木精-伊红(hematoxylin-eosin,HE)染色分析

对小鼠实施人道安乐死后,分离心脏、肝脏、脾脏、肺及肾脏组织,置于 4%福尔马林溶液中固定过夜,随后进行石蜡包埋;制备 4 μm 厚度切片,进行 HE 染色,用于组织病理学观察。

1.3.3 免疫分析

取小鼠部分脾脏,研磨后加入裂红液裂解红细胞,收集细胞,采用鼠源 anti-CD3、anti-CD4、anti-CD8、anti-CD19 荧光抗体进行染色,通过流式细胞仪检测 T 淋巴细胞、辅助性 T 细胞、细胞毒性 T 细胞及 B 细胞。

1.4 统计学方法

运用 GraphPad Prism 9.0 软件对实验数据进行分析,数据采用平均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,数据经正态分布与方差齐性检验均满足要求,采用独立样本 t 检验进行分析。生存曲线采用 log-rank(Mantel-Cox)检验分析,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 RFID 电子标签及识别系统的安全性分析

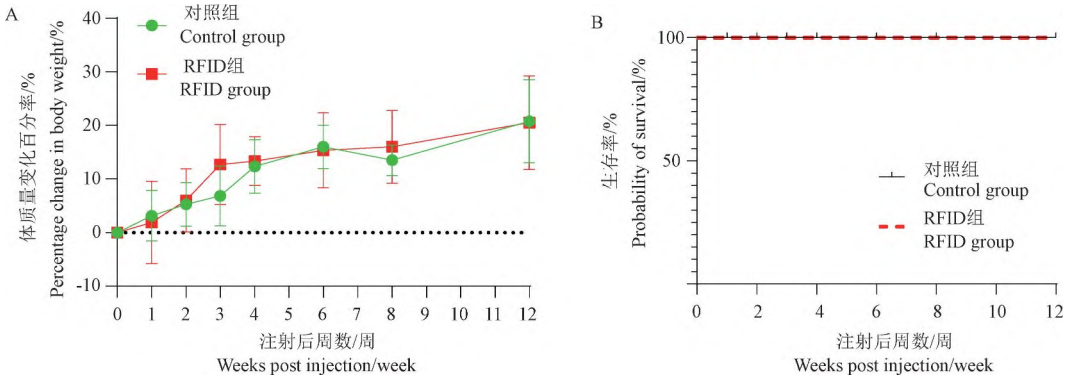
2.1.1 皮下植入 RFID 电子标签对小鼠生存率及体质量动态变化的影响

将 RFID 电子标签皮下注射植入小鼠颈部,

分析标记后小鼠短期与长期生理生化反应；观察小鼠精神状态及死亡情况，结果显示，与对照组相比，RFID 组小鼠标记后的体质量变化、生存率差异均无统计学意义（体质量曲线 $P=0.6084$，生存曲线 $P>0.9999$，图 1）。

2.1.2　RFID 电子标签植入后小鼠血常规参数与肝肾功能指标的时序性变化分析

如图 2 所示，于不同时间点采集小鼠血液样



注：A：体质量变化百分率；B：小鼠生存率。

图 1　RFID 电子标签植入后对小鼠体质量曲线及生存曲线

Note. A, Percentage change in body weight. B, Probability of survival.

Figure 1　Body weight curves and survival curves of mice after RFID electronic tags injection

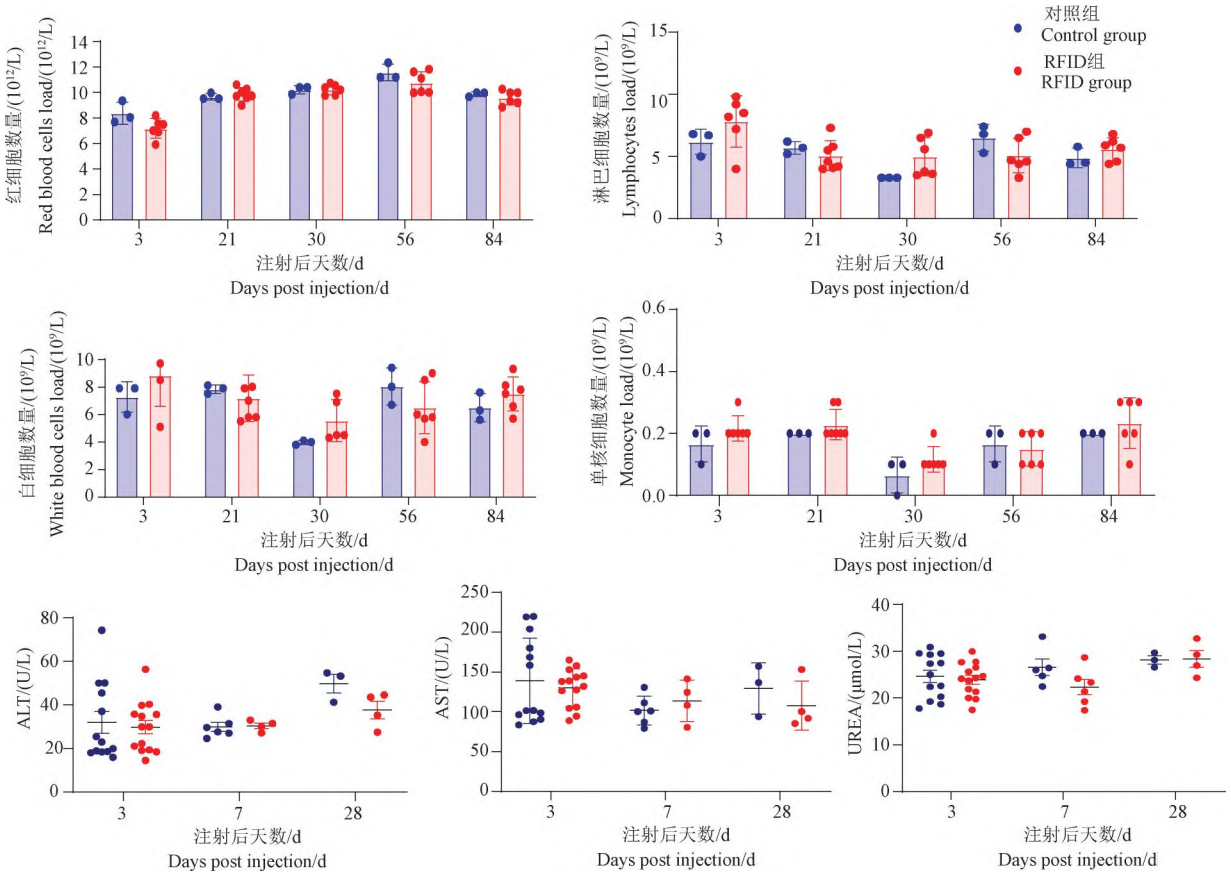


图 2　RFID 电子标签植入后小鼠血液中红细胞数量、淋巴细胞数量、白细胞数量、单核细胞数量及 ALT、AST、UREA 含量变化

Figure 2　Changes in the number of red blood cells, lymphocytes, white blood cells and monocytes, as well as the levels of ALT, AST, and UREA in mouse blood after RFID tag implantation

本,开展血常规及肝肾功能生化指标检测。结果显示,RFID 组小鼠各项生理生化指标与对照组相比差异均无统计学意义(P>0.05)。RFID 组与对照组比较,其血常规红细胞数、白细胞数、淋巴细胞数、单核细胞数,以及血生化 ALT、AST、UREA 含量在各时间点的各项指标差异均无统计学意义(P>0.05)。

2.1.3 小鼠皮下植入 RFID 电子标签后主要脏器病理形态学改变评价

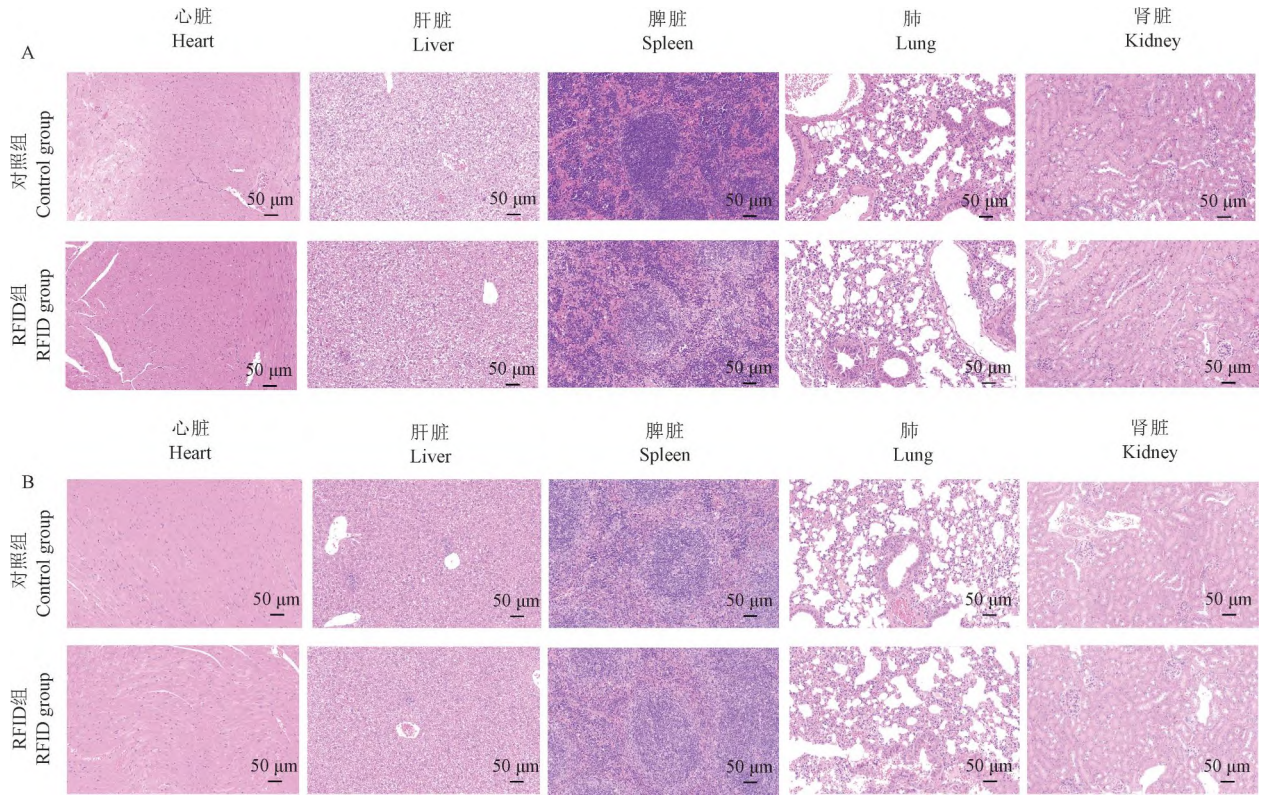
小鼠植入 RFID 电子标签标记后第 7 、28 天,摘取心脏、肝脏、脾脏、肺、肾脏制备组织切片行 HE 病理检测。HE 染色结果显示,与对照组相比,RFID 组未见明显病理改变(图 3)。

2.1.4 可植入 RFID 电子标签在小鼠体内的免疫反应情况

此外,为分析小鼠植入 RFID 电子标签后的免疫反应,于不同时间点采集小鼠脾脏样本,采用流式细胞术检测反映机体免疫应答水平的 T、B 细胞亚群比例(图 4)。结果显示,RFID 组与对照组相比,脾脏 T 细胞、辅助性 T 细胞、细胞毒性 T 细胞、B 细胞占比各项指标差异均无统计学意义(P>0.05)。综合上述结果表明,RFID 植入小鼠体内不会造成机体安全风险。

2.2 RFID 电子标签及识别系统的有效性分析

于标记后不同时间点,检测小鼠 RFID 电子标签的电磁信号与识别敏感性,以可探测距离、识别信号所需操作次数作为评价指标(表 1)。同时检测生物安全实验室内动物尸体经高压处理后电子标签的电磁信号,评价标签耐高温、耐高压性能(图 5)。结果显示,生物安全二级实验室内,4 个月内各时间点 RFID 电子标签均可被识别;标签可探测距离、识别所需操作次数(单



注:A:注射后 7 d 小鼠主要脏器 HE 染色结果;B:注射后 28 d 小鼠主要脏器 HE 染色结果。

图 3 RFID 电子标签注射后 7 d、28 d 小鼠心脏、肝脏、脾脏、肺、肾脏病理 HE 染色分析(200×)

Note. A, HE staining results of major organs in mice at 7 d post-injection. B, HE staining results of major organs in mice at 28 d post-injection.

Figure 3 HE staining analysis of the heart, liver, spleen, lung and kidney of mice at 7 days or 28 days after RFID electronic tag injection(200×)

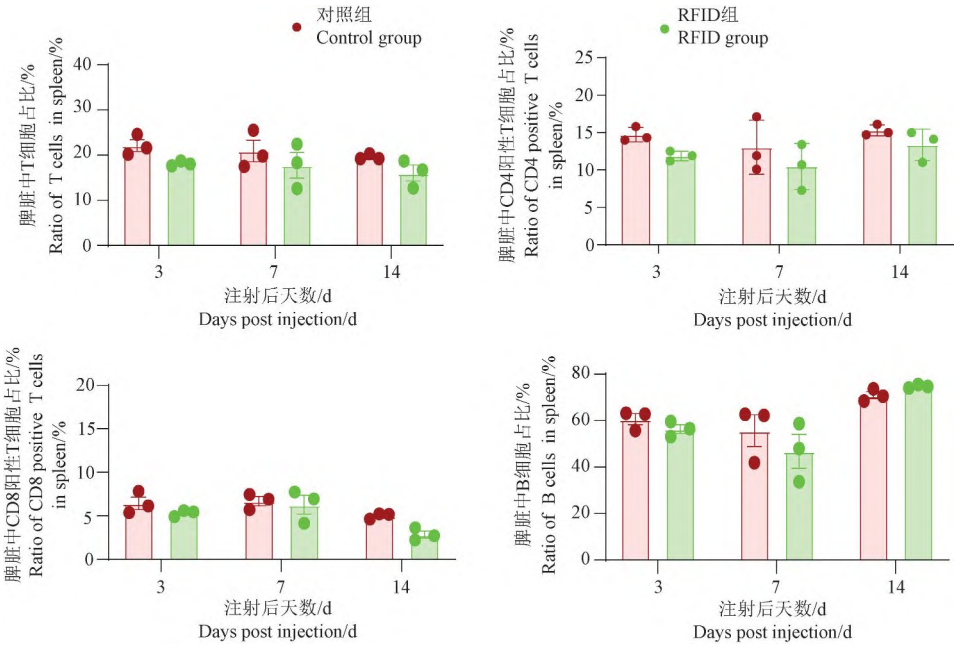


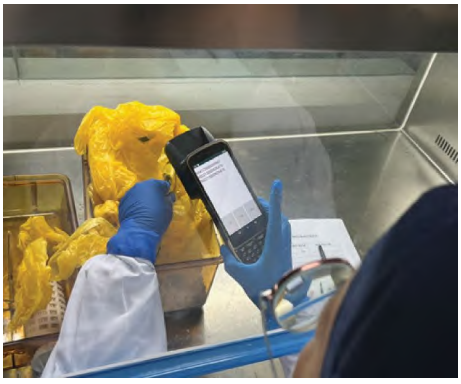
图 4　RFID 电子标签植入后不同时间点小鼠免疫反应情况

Figure 4　Immune response of animals at different time points after RFID electronic tags injection in mice

表 1　小鼠 RFID 电子标签标记后信号采集情况

Table 1　Signal acquisition situation of mice after RFID electronic tags injection

评价指标 Evaluation index	0 d	3 d	7 d	14 d	4 周 Week 4	8 周 Week 8	12 周 Week 12	16 周 Week 16
可探测信号所需平均距离/cm Average distance required for detectable signal/cm	3	3~4	3	3	3	3	3	3
可探测信号所需操作次数/次 Number of operations required for signal detection/times	1	1	1	1	1	1	1	3



注：高温高压后识别机可识别 RFID 电子标签信号，屏幕中可显示小鼠标记编码。

图 5　高温高压后 RFID 电子标签信号识别情况

Note. After high temperature and high pressure treatment, the identification device can detect RFID electronic tag signals, and the mouse code can be displayed on the screen.

Figure 7　RFID electronic tags signal recognition after high temperature and high pressure

次操作即可识别）组间差异均无统计学意义（$P>0.05$）。动物实验结束后，经高温高压处理，小鼠体内的 RFID 电子标签仍可识别，提示该 RFID 电子标签具备良好的耐高温、耐高压性能，在生物安全二级实验室环境下识别敏感性稳定。

3　讨论

RFID 电子标签是利用电磁场传输数据来识别动物身份[16]。本研究将生物安全实验室的小鼠进行 RFID 电子标签植入，系统分析标记后小鼠的生理生化、毒性及免疫应答相关指标。结果显示，植入 RFID 电子标签后，小鼠精神状态、各项生理生化指标与未标记对照组相比，差异均无统计学意义。生物安全二级实验室为负压隔离环境，为明确该场景下电子标签的实际使用效

能,本研究于不同时间点检测标记小鼠体内 RFID 电子标签的电磁信号强度与识别敏感性,结果表明标签电磁信号与识别敏感性未见明显改变。同时,本研究检测动物尸体经高压无害化处理后的标签信号,证实该电子标签具备耐高温、耐高压性能。上述结果提示,RFID 电子标签可安全、有效地应用于生物安全二级实验室。标签植入不会对小鼠精神状态及生理生化指标造成不良影响,无明显机体安全风险;且在负压隔离环境以及动物尸体高压处理条件下,标签电磁信号稳定,表现出良好的耐高温、耐高压特性。该结果为构建实验动物全生命周期追踪系统,实现动物入笼、实验操作直至无害化处理全流程的数据采集与溯源管理,提供了理论依据与技术支撑。

尽管本研究为 RFID 电子标签在生物安全实验室实验动物信息管理中的应用奠定了基础,但仍存在进一步研究探索的空间。在技术优化方面,可开发体积更小、灵敏度更高的 RFID 电子标签,降低对动物日常活动的潜在干扰,进一步提升信号传输的准确性与稳定性。目前 RFID 技术已与物联网、大数据、人工智能等前沿技术深度融合[17-19],未来可应用于动物信息的实时监测、定位、智能分析与预警,为生物安全实验室的管理决策提供高效精准的技术支持。从应用场景拓展角度,后续研究应扩大验证范围,覆盖不同防护等级的生物安全实验室以及极端温度、高湿度等特殊环境;同时针对大动物、水生动物等不同实验动物开展研究,全面验证电子标签的通用性与实用性,满足多元化科研需求。在技术推广过程中还需重视成本因素,综合评估电子标签采购、植入、管理系统搭建及后期维护等各项成本,分析该技术在不同规模生物安全实验室的应用价值,为技术普及提供经济学参考,在提升实验室管理能力的同时实现成本效益最大化。

参考文献:

[1] 中华人民共和国全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国生物安全法 [Z/OL]. (2020-10-17) [2026-03-11]. http://www.npc.gov.cn/npc/c2/c30834/202010/t20201017_308282.html.
Standing Committee of the National People's Congress of the People's Republic of China. Biosecurity Law of the People's Republic of China [Z/OL]. (2020-10-17) [2026-03-11]. https://www.npc.gov.cn/npc/c2/c30834/202010/t20201017_308282.html.

[2] 马丽. 生物安全背景下医学院校免疫与病原微生物教学实验室安全管理探索 [J]. 实验室检测, 2025, 3(21): 176-178.
Ma L. Exploration on safety management of immunology and pathogenic microbiology teaching laboratory in medical colleges under the background of biosafety [J]. Lab Test, 2025, 3(21): 176-178.

[3] 陈丽香, 秦波音, 杨华, 等. 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 [J]. 实验动物与比较医学, 2022, 42(2): 89-94.
Chen L X, Qin B Y, Yang H, et al. Application prospect of identification and traceability technology of laboratory animals in biosafety laboratory [J]. Lab Anim Comp Med, 2022, 42(2): 89-94.

[4] 赵一丞, 岩旺, 桂祎, 等. 融合区块链技术和 RFID 标签的动物及产品追溯系统的前沿性探索 [J]. 现代畜牧科技, 2026, 54(5): 150-153.
Zhao Y C, Yan W, Gui Y, et al. Exploration of a frontier animal and product traceability system integrating blockchain technology and RFID tags [J]. Mod Anim Husb Sci Technol, 2026, 54(5): 150-153.

[5] 廖超, 程金花. 射频识别技术在畜禽养殖中的应用与展望 [J]. 猪业科学, 2021, 38(11): 92-95.
Liao C, Cheng J H. Application and prospect of radio frequency identification technology in livestock and poultry [J]. Swine Ind Sci, 2021, 38(11): 92-95.

[6] Liu G, Wang Q A, Jiao G, et al. Review of wireless RFID strain sensing technology in structural health monitoring [J]. Sensors (Basel), 2023, 23(15): 6925.

[7] 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.

[8] 刘海强, 孟伟, 张栓玲, 等. 基于 RFID 的畜禽追溯监管技术的应用开发 [J]. 物联网技术, 2025, 15(15): 100-103.
Liu H Q, Meng W, Zhang S L, et al. Application and development of traceability supervision technology for livestock and poultry based on RFID [J]. Internet Things Technol, 2025, 15(15): 100-103.

[9] 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.

[10] 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.
Huang M X, Li L H, Xu L J, et al. Application progress of

RFID technology in individual animal behavior recognition [J]. China Poult, 2018, 40(22): 39-44.

[11] 伏仕波, 肖宛昂, 毛文宇, 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.
Fu S B, Xiao W A, Mao W Y, et al. A temperature sensor for implanted RFID tags [J]. Microelectronics, 2019, 49(6): 772-776, 782.

[12] Peleh T, Bai X, 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.

[13] 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.
Liu X M, Wei D X. Application of RFID technology in animal husbandry [J]. Acta Ecol Anim Domastici, 2020, 41(1): 78-80.

[14] 陈梦雪, 周志宇, 张兵. 基于 RFID 的笼内小鼠定位跟踪系统设计 [J]. 传感器与微系统, 2024, 43(6): 101-104.
Chen M X, Zhou Z Y, Zhang B. Design of tracking system for locating mice in cages based on RFID [J]. Transducer Microsyst Technol, 2024, 43(6): 101-104.

[15] 陈亚琴. 生物安全实验室消毒灭菌关键技术探讨 [J]. 工业微生物, 2025, 55(6): 137-139.
Chen Y Q. Discussion on key disinfection and sterilization technologies in biosafety laboratories [J]. Ind Microbiol, 2025, 55(6): 137-139.

[16] 张晓卫, 王月明, 李子剑, 等. 动物身份识别方法综述 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2023, 66(8): 34-42, 134, 135.
Zhang X W, Wang Y M, Li Z J, et al. Review of animal identification methods [J]. Heilongjiang Anim Sci Vet Med, 2023, 66(8): 34-42, 134, 135.

[17] 周丽, 刘凯, 夏瑞学. 基于有源 RFID 的野生动物监管系统设计 [J]. 智能物联技术, 2021, 53(4): 11-15.
Zhou L, Liu K, Xia R X. Design of wildlife monitoring system based on active RFID [J]. Technol IoT & AI, 2021, 53(4): 11-15.

[18] 刘忠超, 范灵燕, 翟天嵩, 等. 基于 RFID 和北斗的散养羊只智能身份识别与定位系统设计 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2026, 69(1): 30-36.
Liu Z C, Fan L Y, Zhai T S, et al. Design of an intelligent identification and positioning system for free-range sheep based on RFID and Beidou [J]. Heilongjiang Anim Sci Vet Med, 2026, 69(1): 30-36.

[19] Song C, Wu Z. Artificial intelligence-assisted RFID tag-integrated multi-sensor for quality assessment and sensing [J]. Sensors (Basel), 2024, 24(6): 1813.

〔收稿日期〕2026-03-11