

田晓彦,杨文浩. 浅谈高校动物生物安全三级实验室管理与经验交流 [J]. 中国比较医学杂志, 2024, 34(9): 88-93.

Tian XY, Yang WH. Discussion on the management and experience exchange of Animal Biosafety Level 3 Laboratories in universities [J]. Chin J Comp Med, 2024, 34(9): 88-93.

doi: 10.3969/j.issn.1671-7856.2024.09.011

浅谈高校动物生物安全三级实验室管理与经验交流

田晓彦^{1,2}, 杨文浩^{1,2*}

(1.扬州大学兽医学院,江苏 扬州 225009;2.江苏省高校动物重要疫病与人兽共患病防控协同创新中心,江苏 扬州 225009)

【摘要】 动物生物安全三级实验室(ABSL-3)作为国家新发再发传染病的生物安全体系基础支撑平台,为研究高致病性病原微生物的生物学特性、预防和治疗手段提供了至关重要的硬件基础。ABSL-3实验室也为高校“产学研”结合提供了重要支撑。ABSL-3实验室正常运行和科研工作顺利开展,离不开应急预案工作的精心策划和有效实施。此外,实验室合理的设计和布局也是规避和降低意外事故的关键因素。本文结合扬州大学ABSL-3建设管理实践,从应急预案准备工作入手对实验室建设布局、日常运行及污水处理、终末消毒具体措施和突发事件处置等方面的注意事项展开介绍,以期今后操作各种病原微生物的生物安全实验室提供有益的参考。

【关键词】 动物生物安全三级实验室;应急准备;日常管理

【中图分类号】 R-33 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-7856 (2024) 09-0088-06

Discussion on the management and experience exchange of Animal Biosafety Level 3 Laboratories in universities

TIAN Xiaoyan^{1,2}, YANG Wenhao^{1,2*}

(1. College of Veterinary Medicine, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China. 2. Collaborative Innovation Centre for Prevention and Control of Important Animal Diseases and Veterinary and Human Diseases in Universities in Jiangsu Province, Yangzhou 225009)

【Abstract】 Animal Biosafety Level 3 Laboratory (ABSL-3), as a basic support platform for the national biosafety system for emerging and re-emerging infectious diseases, provides a crucial infrastructure for the study of the biological characteristics of highly pathological pathogenic microorganisms, prevention and treatment means. The ABSL-3 laboratory also provides an important support for the university “industry-academia-research” combination. The normal operation of the ABSL-3 laboratory and the smooth development of scientific research work can not be separated from the careful planning and effective implementation of emergency preparedness work. In addition, the reasonable design and layout of the laboratory is also a key factor to avoid and reduce accidents. This paper combines Yangzhou University ABSL-3 construction and management practices, starting from the preparation of the emergency plan on the laboratory construction and layout, daily operation and sewage treatment, terminal disinfection of specific measures, and emergency disposal and other aspects of attention to be introduced, in order to provide a useful reference for the future operation of various pathogenic microorganisms biosafety laboratories.

【Keywords】 Animal Biosafety Level 3 Laboratory; emergency preparedness; daily management

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

[基金项目] 江苏高校优势学科建设工程资助项目(334020024);江苏高校动物重要疫病与人兽共患病防控协同创新中心(205070019)。

[作者简介] 田晓彦(1990—),女,实验师,硕士,研究方向:生物安全三级实验室管理及小动物疾病病原方面研究。

E-mail:006473@yzu.edu.cn

[通信作者] 杨文浩(1990—),男,实验师,博士,研究方向:禽流感疫苗研发及免疫应答机制。E-mail:008465@yzu.edu.cn

近年来,高致病性禽流感、非典型肺炎(SARS)、新冠病毒等严重传染病引发了社会对生物安全的重视^[1]。为应对新发再发传染病和保障生物安全,我国已经规划并建成一批高等级生物安全实验室,作为国家生物安全体系的基础支撑平台。2021 年实施的《中华人民共和国生物安全法》对病原微生物实验室生物安全做出了具体规定,其中也包括高等级病原微生物实验室。实验室生物安全也是保障我国生物安全的重要环节。实验室同时也是高校培养创新能力和操作能力人才的重要场所^[2]。高校的 ABSL-3 实验室承担着多项国家级、省级科研项目,为我国传染病预防及治疗工作提供强有力的技术支撑。因此根据高致病性病原微生物特性,如何建立适合高校特色、行之有效的应急实验活动,最大程度地控制潜在风险,确保实验人员和周围环境的安全,保障实验室正常运转,除了实验室科学合理设计、硬件设施设备外,规范化的管理措施也是生物安全三级实验室安全运行的重要保障。

1 扬州大学动物生物安全三级实验室的建设与管理

1.1 扬州大学动物生物安全三级实验室基本情况

扬州大学动物生物安全三级实验室(以下简称扬州大学 ABSL-3)位于扬州大学文汇路校区内部,是江苏省内唯一拥有 ABSL-3 的高校。该实验室最初于 2007 年获得中国合格评定国家认可委员会(CNAS)的认可。2015 年,为满足日益增长的科研需求及符合国家生物安全实验室建筑技术规范(GB50346-2011)规定,实验室选址重建,新 ABSL-3 建为独立三层结构,楼层面积 460 平方米,整个实验室防护区的面积为 216 平方米。根据国务院颁布的《病原微生物实验室生物安全管理条例》、国家环境保护总局颁布的《病原微生物实验室生物安全环境管理办法》以及《高等级病原微生物实验室建设审查办法》等文件规定^[3-4],新建的扬州大学 ABSL-3 经过国家发改委、科学技书部和江苏省环境保护厅的审批,实验室的关键防护设施设备经过第三方检测,符合《生物安全实验室建筑技术规范》的要求,通过 CNAS 重新认可^[5]。扬州大学 ABSL-3 也按规定向农业农村部申请开展相关动物高致病性病原微生物实验活动。目前,该实验室内可授权操作的实验动物包括小鼠、家禽(鸡和鸭),成为江苏省高校内唯一拥有可进行动物实验的生物安全三级实验室的平台。扬州大学 ABSL-3 为高校内从事家禽

高致病性禽流感病毒、新城疫病毒和非洲猪瘟病原体操作的科研人员提供一个安全可靠的研究环境。在开放使用期间,严格按照有关要求执行相关法律法规,确保实验室工作人员健康安全。自 2015 年起至今,实验室一直保持着安全稳定的运行状态,未曾发生任何安全事故。

1.2 扬州大学动物生物安全三级实验室的建设特点

扬州大学 ABSL-3 的建筑设计科学合理,内部布局得当,建设质量卓越。通过对设计的研究与实践,为今后同类实验室的建设提供一定参考。实验室建筑整体分 3 层:第一层是专门用于污水处理、危险废弃物暂存、配电以及二级实验室辅助区域;ABSL-3 位于建筑物二层,包括防护区(核心工作间、二缓、准备间、一缓、淋浴间等)和辅助区(监控室、消洗间、气瓶间等);第三层是设备管道层(包括空调系统、送排风系统、纯水处理系统等)。整个实验区布局合理紧凑,设施先进齐全。实验区的规划具有 5 大显著特征:一是功能区划分科学。经独立门禁系统进入 ABSL-3 核心区,依次通过一更、淋浴间、二更和缓冲间。负压控制从淋浴间开始,依次递增到核心区。每个房间门均有自动联锁和报警提示装置,如果相邻房间压力差值低于设置限值(例:核心间与二缓的压差 ≤ -20 Pa),则会自动发出报警提示。二是实验室管道层设计人性化,满足使用需求。该层空间高 3.1 m,管道布局清晰可见,方便进行维修和检查以保障设备正常运转。三是实验室节能设计。面向高校服务的扬州大学 ABSL-3,为了满足高需求的科研实验活动和分组需求,ABSL-3 核心区分为两个独立的运行单元,可以根据实验需求作为一个整体同时运行,也可满足两种不同病原的独立操作需求。根据实验室建筑规范要求,在遭遇突发断水断电的情况下,实验室备有储水箱和 UPS 不间断电源。四是仪器的配置布局合理。实验室防护区内配有符合生物安全规定的专用饲养家禽隔离器、IVC 和多功能自动消毒洗手设施,可满足动物饲养及饮水需求。实验室核心间内配有家禽隔离器设备(共计 7 台)和鼠 IVC(72 笼)可满足科研分组试验需求,极大地提高实验室的使用效率。五是污水处理系统实用、安全可靠。扬州大学 ABSL-3 在风险评估的基础上,结合使用需求,在实验室一楼设置污水处理设施,采用高温或化学方法处理污水、污水处理罐容量为每台 1000 L,一

备一用,充分满足实验活动产生废水的处理需求。

1.3 制度完善、管理严格

重视实验室人员建设,建立一支责任心强、业务素质高的实验室人员队伍是做好管理工作的必要条件^[6]。扬州大学 ABSL-3 管理人员共 23 名,其中 18 名拥有高级职称,均为黄大年教师团队中在兽医传染病方向表现出色的成员。该实验室除了为本校科研提供服务,还肩负着国家动物疫情监测、流行病学调查计划和向社会提供科研服务。

目前实验室已形成了一套完善的规章制度和规范的工作程序,包括仪器设备管理制度、工作人员制度、日常维护保养及突发事件处理制度等,这是降低实验室意外事故发生的关键要素之一^[7]。保证每一个工作人员都能严格按照管理制度办事,从而实现人-机-料-法-环之间和谐统一^[8]。为了确保实验室内的实验活动能够安全、有序地进行要严格落实实验室准入制。扬州大学 ABSL-3 主要面向学校内的师生,开展实验活动的师生均必须通过全面培训、考核,经考核合格取得实验室上岗证后才可以进入实验室工作。为了确保培训效果,培训分为集中和点对点培训方式。集中培训主要包括实验室所操作病原微生物的风险评估、实验技术操作规范、实验室安全设备设施、防护用品的正确使用、应急演练等。点对点培训,主要对首次参加培训的人员现场模拟跟踪。在实验室应急演练中,除了针对不同病原微生物发生生物安全风险时的防范措施外,还包括了实验室运行中可能发生的各种风险因素。此外,在实验过程中,如何处理人员突发的身体疾病也纳入到应急演练中。在日常运行时,实验室管理人员通过实时监控系统对操作人员是否遵守操作规程、个人防护、环境消毒工作等方面的现场监督管理,使培训效果得到保证。

2 实验室日常运行状态下的应急准备工作

2.1 样本和菌毒种的接收与保存方面

在 ABSL-3 样本和菌毒种管理中防范失窃、故意破坏和误用是一个至关重要的风险点,因此安保和监管的日常工作必须得到妥善处理,包括准入制度的有效实施以及“人防”和“技防”的有机结合^[9]。为了确保生物材料的保存和使用的可追溯性,我们严格执行双人双锁的制度并设计相关登记表(生物危险材料(毒种)出入库记录表,生物危险材料(毒种)领用申请表,毒种台账登记表)全面覆盖毒种来

源、去向。其次,在日常使用中:如遇菌毒种溢洒事故的发生,根据泄露的病原微生物特性在溢洒处理工具箱中选用合适的消毒剂和溢洒处理工具及标识牌。溢洒处理工具箱外部贴有“溢洒处理工具箱”的标识字样,存放在实验室指定位置。溢洒处理工具箱里面放有:(1)盛放有次氯酸钠(0.5%或 2.3%有效氯)消毒液的塑料桶;(2)不锈钢镊子,刷子、可高压的扫帚和簸箕,以及不锈钢的耐扎废物桶;(3)医用纱布和吸水纸巾;(4)用于盛放感染性溢洒物以及清理物品的专用收集袋或容器;(5)橡胶手套;(6)写有“禁止进入、溢洒处理”的警示标识。

2.2 实验室动物饲养状态下的应急准备工作

扬州大学 ABSL-3 的动物饲养和操作都在隔离器内进行,不直接暴露于实验室环境中,这大大降低生物安全风险。但是在实验操作过程中,如遇动物咬伤、针头刺伤情况,为确保人员的安全,在同伴帮助下立即将受伤部位的血液挤出,流水冲洗、并用实验室配置的医疗急救箱对伤口进行消毒预处理。如有必要送指定医院进行后续观察和治疗。如遇动物逃逸情况,应避免扩大污染区,及时捕捉逃逸动物,对污染环境按照紧急预案程序消毒。

2.3 处理危险废物的措施

ABSL-3 所产生的废弃物分为固体废弃物和污水两种,其中污水主要来源于淋浴、动物间自动洗手器、双扉高压灭菌器。必须对其进行有效处理才能保证实验室工作人员以及周边人群健康和环境不受到影响^[10]。对于 ABSL-3 而言,采用有效的污水处理方法并实施安全排放监测措施,是不可或缺的。首先要结合病原微生物的特性进行风险评估,选择有效处理污水的方式^[11]。扬州大学 ABSL-3 的污水消毒处理设备是专门设计和配置的,以处理实验室内各种污水,水源包括从多功能洗手器排出的消毒水,淋浴水以及双扉高压灭菌器产生的冷凝水。该设备采用两套独立的 1 吨不锈钢消毒罐系统,这种双系统设计不仅提供了持续的工作能力,而且确保在一套系统出现故障时,另一套系统可以立即接管,从而确保实验室的正常运作。这套系统可以自动切换,无需人工介入,进一步降低了操作复杂性和潜在的人为错误。在消毒方式方面,该设备提供了两种可选的消毒模式:电加热高温消毒和添加含氯消毒剂进行化学消毒。电加热高温消毒利用高温破坏病原微生物的结构,从而达到消毒目

的;而化学消毒则是通过添加含氯消毒剂,利用氯的强氧化性来灭活病原微生物。这两种消毒方式可以根据实验的具体需求和条件进行选择。

为了确认该污水消毒处理设备在实际应用中的消毒效果,实验室进行了专门的验证实验。在污水处理罐内的样品检测导管中放入已知病毒活性的禽流感病毒(AIV H9)和新城疫病毒(NDV A14)各 1 支,体积为 1 mL。污水处理系统被设定为电加热模式,消毒参数设定为温度 90 ℃,时间 30 min。在污水处理罐内补充自来水,当水位达到水位计上限时,进水阀自动关闭,随后电加热系统启动。当水温加热到 90 ℃ 时,系统会维持该温度 30 min 以上确保有效消毒。之后,电加热系统自动停止。待水温自然冷却至 50 ℃ 时,设备的排水阀门自动开启,排放经过消毒处理的水。从污水处理罐检测导管中取出高温处理的病毒毒种管样品,进行表面消毒。在 ABSL-3 生物安全柜内打开样品管,接种 10 日龄 SPF 鸡胚尿囊腔,每枚 0.1 mL,每组接种 5 枚。接种后每天照胚,取死亡鸡胚和 124 h 存活胚,取尿囊液进行血凝性(HA)检测,并对尿囊液盲传 2 代。HA 检测阳性,说明病毒灭活失败;连续 3 代 HA 检测阴性,则说明病毒 100% 灭活。结果见表 1。

本试验的结果清晰地表明,当实验室污水经过高温加热处理(90 ℃, 30 min),禽流感病毒和新城疫病毒可以被完全杀灭。基于病毒的性质,这种处理方式同样也能够杀灭非洲猪瘟病毒。这一方法确保了实验室污水在排放前经过有效处理,从而保障了排放的安全性。同时,在污水处理过程中对系统运行状态进行监控,做好记录并将其存档备查。其次,定期检查污水管道是否存在泄漏,并采取相应的预防措施来消除病原微生物意外泄漏的风险。

固体废弃物处理时,需要进行精细的分类、包装,经双扉高压灭菌处理后交由废弃物处理公司专业处理。其中动物尸体单独包装,经高压灭菌后送

学校动物处理中心进行无害化处理。

2.4 清场、终末消毒

消毒是实验结束后保障实验人员、实验环境和外部环境安全的关键步骤。在实验活动中,每天实验结束后进行清场消毒,以确保其生物安全。实验活动周期结束后,对不能用于高压消毒处理的设备(如鸡隔离器)、实验室空间、地面和桌面进行终末消毒。扬州大学 ABSL-3 采用分步法进行实验室消毒,首先,第一步对隔离器内部空间采用甲醛熏蒸消毒,实验室外部空间进行紫外灯照射消毒,过夜通风后,第二步对实验室空间(含排风高效过滤器)采用 Bioquell 过氧化氢蒸汽发生器进行熏蒸消毒。同时用外接循环风机管道连接高效过滤原位消毒管道,对整个房间的高效一起消毒。为了确保其消毒效果应达到灭菌要求,实验室对终末消毒进行消毒效果验证。例如:在实验室内利用 Bioquell 过氧化氢灭菌生物指示剂(HPV-BI/英国,嗜热脂肪芽孢杆菌,载菌量 $\geq 10^6$ CFU)布点,实验室消毒结束后,收集菌片(生物指示剂)。在生物安全柜中,无菌镊子取出菌片,加入到含 0.1 mol 硫代硫酸钠 PBS(中和剂,每支 0.5 mL)的无菌试管中,37 ℃ 中和作用 10 min,再加入 TSB 培养基,每支 5 mL,摇匀,56 ℃ 恒温培养(加水盘,保持湿润)。试验同时设置中和剂对照、阳性对照(无中和剂未消毒菌片)和阴性对照(无菌片)。进行消毒效果判定如表 2。

经消毒验证,我们实验室使用的 Bioquell Z-2 过氧化氢蒸汽消毒器能有效杀灭空气和管道中可能存在的细菌和病毒,且无二次污染风险。为了保证每次消毒效果,我们采用“专人”管理方式,由两名经过专业培训的固定工作人员全程负责消毒过程并记录消毒检测效果。

3 发生其他意外事故

ABSL-3 如遇电力故障、水灾和火灾情况,如何在保证生物安全的前提下去应对显得尤为重要。

3.1 电力故障

当电力出现故障时,其对实验质量(特别是动物实验)的影响是巨大的,更为重要的是,它极易导致生物安全事故的发生。ABSL-3 一些重要的关键防护设备,如生物安全柜、动物隔离设施、送排风系统等,都联接应急电源,在发生电力故障时保证不间断电源持续供电至少 30 min 以上。

表 1 污水高温处理对 AIV 和 NDV 的灭活效果

Table 1 Inactivation of AIV and NDV by high temperature processing of wastewater

病毒 Virus	HA 效价 HA titer		
	0 代 0th generation	1 代 1st generation	2 代 2nd generation
禽流感病毒 AIV(H9)	0	0	0
新城疫病毒 NDV(A14)	0	0	0

表 2 实验室生物指示剂菌片布置与气体消毒后的细菌培养结果

Table 2 Bacterial culture results of laboratory bio-indicator bacteriophage arrangement with gas sterilization

生物指示剂(菌片)分布		56 ℃ 培养观察结果(1~7 d)						
Distribution of bio-indicator (bacterial piece)		56 ℃ incubation observation results (1~7 d)						
动物实验 室 西 区 单元 West unit of the animal laboratory	东侧板壁	-	-	-	-	-	-	-
	Eastside boardwall	-	-	-	-	-	-	-
	南侧板壁	-	-	-	-	-	-	-
	Southside boardwalk	-	-	-	-	-	-	-
	西侧板壁	-	-	-	-	-	-	-
	Westside boardwalk	-	-	-	-	-	-	-
	北侧板壁	-	-	-	-	-	-	-
	Northside boardwalk	-	-	-	-	-	-	-
	地板表面	-	-	-	-	-	-	-
	Floor surface	-	-	-	-	-	-	-
	解剖台内	-	-	-	-	-	-	-
	Inside the dissecting table	-	-	-	-	-	-	-
	解剖台外	-	-	-	-	-	-	-
	Outside the dissecting table	-	-	-	-	-	-	-
	IVC 外	-	-	-	-	-	-	-
	Outside of IVC	-	-	-	-	-	-	-
实验室排风高效循环风机末端		-	-	-	-	-	-	-
Laboratory exhausthigh efficiency circulating fan end		-	-	-	-	-	-	-
鸡隔离器内		-	-	-	-	-	-	-
Inside of chicken isolator		-	-	-	-	-	-	-
鸡隔离器外		-	-	-	-	-	-	-
Outside of chicken isolator		-	-	-	-	-	-	-
鸡隔离器排风高效末端		-	-	-	-	-	-	-
Chicken isolator exhaust high efficiency end		-	-	-	-	-	-	-
中和剂对照		++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Neutralizer control		++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
阳性对照		++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Positive control		++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
培养基阴性对照(无菌片)		-	-	-	-	-	-	-
Negative control of culture medium (sterile tablets)		-	-	-	-	-	-	-

注：“-”：培养基清朗，无细菌生长；“+”：培养基轻度浑浊；“++”：培养基中度浑浊；“+++”：培养基重度浑浊。
Note. “-”, Medium is clear with no bacterial growth. “+”, Medium is mildly turbid. “++”, Medium is moderately turbid. “+++”, Medium is heavily turbid.

3.2 水灾

在 ABSL-3 实验室发生供水管破裂、水管堵塞或自然水灾的情况下,应立即向学校保卫科有关部门报告,并尽最大努力将污染物和废弃物妥善安置在安全的场所,避免传播,同时立即向紧急服务人员汇报实验室内潜在的危险情况。

3.3 火灾

在实验室发生火灾时,实验人员需沉着冷静,理性判定火情状态,如火情小,则立即用实验室内配置的灭火器灭火,如火情较大不具备扑灭火情的能力,则立即 119 报警,并有序组织人员撤离实验室,以确保人员的安全。消防员灭火时,实验室人员需要明确告知可能存在的生物安全风险,特别是毒种存放地点。

在日常管理中也要注意以下:(1)定期进行防

火巡查。首先对消防报警系统通讯设备、进行定期检测,以确保其功能正常,并使所有工作人员充分了解其运行情况。消防设施是否过期损坏,ABSL-3 内因仪器贵重且精密,只配置二氧化碳灭火器。其次,逃脱线路的标识是否清楚,以确保每个房间都有醒目的提醒。(2)培训人员,提升意识和能力。通过应急演练培训提升老师和学生的火灾防范意识,加强火灾应急响应能力,以及提高灭火器的使用水平。

4 结语

生物安全三级实验室为我们认识开发疫苗、诊断试剂等方面提供了重要的硬件设施保障条件。但是再好的硬件设施保障、再完美的防护条件,在实际操作层面上是无法取代人员自身的素质和责

任心,完善的管理措施能够有效地预防实验室生物安全事故的发生,是实验室安全、稳定、有效运行的重要保障。在我国现阶段的高校中,实验室生物安全是属于重中之重。为了确保实验室的安全、稳定和有效运行,我们需要不断完善应急措施,从实验人员培训、实验活动准入、设施设备运行、消毒和意外事故的预防与处理等多个方面加强实验室管理,以增强我们面对未知病原的信心和勇气。

参考文献:

[1] HUAN G X, XU W G, LI M Q, et al. Antiviral biomaterials [J]. Matter, 2021, 4(6) :1892-1918.

[2] 孙书洪,李华,亓树艳,等. “双一流”建设背景下高校生物实验室安全管理现状与对策 [J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(11) : 298-302.

SUN S H, LI H, QI S Y, et al. Current situation and countermeasures of safety management of biological laboratories in universities under the background of “double first-class” construction [J]. Res Explor Lab, 2018, 37(11) : 298-302.

[3] 中华人民共和国国务院.《病原微生物实验室生物安全管理条例》(国务院令第 424 号) [EB /OL]. (2004 - 11 - 12). https://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5468882.htm.

State Council of the People’s Republic of China. Regulations on the Administration of Biosafety in Pathogenic Microorganism Laboratories (State Council Decree No. 424) [EB/OL]. (2004 - 11 - 12). https://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5468882.htm.

[4] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 实验室生物安全通用要求: GB 19489-2008 [S]. 2009.

General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People’s Republic of China, Standardization Administration of the People’s Republic of China. General requirements for laboratory biosafety: GB 19489 - 2008 [S]. 2009.

[5] 国家发展改革委员会,科技部.《高级别生物安全实验室体系建设规划(2016-2025)》[EB/OL]. (2016 - 11 - 30). https://www.gov.cn/xinwen/2016-12/20/content_5150592.htm.

National Development and Reform Commission, Ministry of Science and Technology. High-level Biosafety Laboratory System Construction Plan. [EB/OL]. (2016-11-30). https://www.gov.cn/xinwen/2016-12/20/content_5150592.htm.

[6] 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, 31(1) : 192-196.

LU B, LI J J, CHENG H L, et al. Construction and administration status of biosafety laboratory in China [J]. Res Explor Lab, 2012, 31(1) : 192-196.

[7] 梁慧刚,黄翠,马海霞,等. 高等级生物安全实验室与生物安全 [J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(4) : 452-456.

LIANG H G, HUANG C, MA H X, et al. High-level biosafety laboratory and biosafety [J]. Bull Chin Acad Sci, 2016, 31(4) : 452-456.

[8] 刘枣,吕文平,汪超,等. EH&S 管理体系在高校实验室生物安全管理中的应用研究 [J]. 创新创业理论与实践, 2020, 3(1) : 151-152.

LIU Z, LYU W P, WANG C, et al. The research on EH & S system application in biosafety management of university laboratory [J]. Theory Pract Innov Entrepreneurship, 2020, 3(1) : 151-152.

[9] 鲁冰清. 论生物安全法规制的范式转变——从损害管理到风险治理 [J]. 吉首大学学报(社会科学版), 2021, 42(1) : 34-42.

LU B Q. On the paradigm shift of legal regulation of biosecurity: from damage management to risk governance [J]. J Jishou Univ Soc Sci, 2021, 42(1) : 34-42.

[10] 中华人民共和国固体废物污染环境防治法 [N]. 中华人民共和国全国人民代表大会常务委员会公报, 2020(2) : 414-430.

Law of the People’s Republic of China on Prevention and Control of Solid Waste Pollution of the Environment [N]. Bulletin of the Standing Committee of the National People’s Congress of the People’s Republic of China, 2020(2) : 414-430.

[11] 陆兵. 实验室生物安全手册:第二版(修订版) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2004.

LU B. Laboratory biosafety manual: 2nd Edition (Revised) [M]. Beijing: People’s Health Publishing House, 2004.

[收稿日期] 2023-10-30