·专题报道——加强生物安全建设·

国内外公共卫生领域现场生物安全现状与挑战

何昌华[1]，王飞[2]，罗欢乐[3]，单超[2]，于学东[4]，韩谦[5]，邓菲[2]，袁志明[2]，师永霞[6]，夏菡[2]

1. 海南省疾病预防控制中心，海口 570203；
2. 中国科学院武汉病毒研究所，武汉 430071；
3. 中山大学公共卫生学院（深圳），深圳 510006；
4. 广州实验室，广州 510005；
5. 海南大学生命健康学院，海口 570228；
6. 广州海关技术中心，广州 510623
通信作者：师永霞，E-mail：shiyx@iqtcnet.cn；夏菡，E-mail：hanxia@wh.iov.cn

【摘　要】在全球化进程加速、叠加气候变化及国际格局演变的多维挑战下，生物安全风险呈现复杂化趋势，公共卫生领域生物安全风险也呈现实验室与现场双维度特征。相较于成熟的实验室生物安全体系，因现场生物安全风险复杂、控制难度大，现场生物安全的研究与体系建设在国际和国内均不成熟。因此，本研究通过系统梳理国内外现场生物安全研究进展，结合国际指南及典型案例分析，揭示现场生物安全风险管控的重要意义，为完善国家生物安全防控与治理体系提供参考。
【关键词】现场生物安全；公共卫生；获得性感染；生物安全风险

Field biosafety in public health: a review of current situations and challenges at home and abroad

HE Changhua[1], WANG Fei[2], LUO Huanle[3], SHAN Chao[2], YU Xuedong[4], HAN Qian[5], DENG Fei[2], YUAN Zhiming[2], SHI Yongxia[6], XIA Han[2] (*1. Hainan Provincial Center for Disease Control and Prevention*, *Haikou* 570203, *China*; *2. Wuhan Institute of Virology*, *Chinese Academy of Sciences*, *Wuhan* 430071, *China*; *3. School of Public Health (Shenzhen Campus)*, *Sun Yat-sen University*, *Shenzhen* 510006, *China*; *4. Guangzhou Laboratory*, *Guangzhou* 510005, *China*; *5. School of Life and Health Sciences*, *Hainan University*, *Haikou* 570228, *China*; *6. Guangzhou Customs District Technology Center*, *Guangzhou* 510623, *China*)
Corresponding authors: SHI Yongxia, E-mail: shiyx@iqtcnet.cn; XIA Han, E-mail: hanxia@wh.iov.cn

【Abstract】 Amid accelerating globalization, compounded by climate change and shifting international dynamics, biosafety risks have become increasingly complex. In the public health domain, these risks manifest in both laboratory and field settings. While laboratory biosafety systems are well-established, field biosafety remains understudied globally due to the inherent complexity and challenges of risk management in uncontrolled environments. This study systematically reviews current progress in field biosafety research, integrating international guidelines and case studies to highlight the critical importance of effective risk mitigation. The findings aim to inform policy and strengthen national biosafety frameworks, offering valuable insights for enhancing prevention, control, and governance systems.
【Keywords】 field biosafety; public health; acquired infection; biosafety risk

在全球化、气候变化、国际政治经济格局不断演变以及新冠病毒感染疫情全球大流行后等多维因素影响的背景下，生物安全形势愈发复杂且充满挑战。各国日益重视生物安全，对构建全方位生物安全能力提出了更为严格的要求。2021年，我国正式颁布《中华人民共和国生物安全法》[1]，标志着我国生物安全治理进入法治化、系统化的新阶段。公共卫生领域的生物安全风险涉及实验室和现场两个方面。目前，国际上和我国均已建立了成熟完善的实验室生物安全（laboratory biosafety）体系[2]。然而，无论是国内还是国外，在现场生物安全（field biosafety）领域的研究和规范体系建设方面均显得尤为不足。本文基于新冠病毒感染后疫情时代公共卫生治理的现实诉求，通过系统梳理并深入剖析全球公共卫生领域现场生物安全的研究进展、发展趋势及面临的挑战，以强化从业人员风险认知与应急处置能力为导向，着力推动理论框架重构与防控实践模式创新，进而为完

开放获取：CC BY-NC-ND 4.0 DOI：10.11847/zgggws1147127
基金项目：国家重点研发计划（2022YFC2302700）；国家自然科学基金区域创新发展联合基金（U22A20363）；海南省重大科技计划项目（ZDKJ2021035）
第一作者：何昌华（1982—），副主任医师，博士，研究方向：病媒生物防制、环境与健康。
收稿日期：2025-02-17　修回日期：2025-03-24　录用日期：2025-07-14
利益冲突：不存在　伦理审查：免除审查　出版授权：全体作者已与编辑部签署作者贡献声明及版权转让协议

善和补充国家生物安全治理体系提供参考。

1 公共卫生领域现场生物安全的内涵及重要性

习近平总书记在中共中央政治局第三十三次集体学习时强调[3]：“现在，传统生物安全问题和新型生物安全风险相互叠加，境外生物威胁和内部生物风险交织并存，生物安全风险呈现出许多新特点，我国生物安全风险防控和治理体系还存在短板弱项。必须科学分析我国生物安全形势，把握面临的风险挑战，明确加强生物安全建设的思路和举措。”因此，如何有效识别生物安全防控治理体系的短板弱项及其带来的问题与挑战，明确加强生物安全建设的思路和举措，对于提升我国生物安全精准治理能力具有重要意义。

在公共卫生领域，现场是指疾病和公共卫生事件实际发生的地点，既包括调查、处置现场，也包括干预现场[4]，通常为实验室之外的环境，如公共场所、边境口岸和自然环境等。现场生物安全指在现场活动中，为防止生物危害因子对人员、社区和环境造成危害而采取的一系列综合防控措施。研究显示，在流行病学调查、监测和应急响应等公共卫生现场活动中，存在诸多已知或未知的生物安全风险[5–7]。然而，相比于拥有成熟体系的实验室生物安全，现场生物安全是一个相对较“新”的领域，是生物安全防控和治理体系中的薄弱环节，国内外在这一领域的研究均较为缺乏。因此，开展现场生物安全研究、推动其风险识别和体系建设，不仅有助于完善国家生物安全治理体系，还能为全球贡献中国智慧和方案。

2 国内外公共卫生领域现场生物安全现状

2.1 国外现场生物安全现状

2.1.1 现场获得性感染案例　实验室获得性感染（lab-acquired infection）是指实验室工作人员在实验室活动中，因接触生物危害因子而意外感染。现场获得性感染（field-acquired infection）是指工作人员在现场活动中，因接触生物危害因子而意外感染。目前，实验室获得性感染事件的研究报道较为系统，而现场获得性感染事件的研究报道则非常有限，且现场暴露与疾病程度的量化关系也未得到充分研究。此外，许多现场获得性感染事件可能已经发生，但未被认定或公开报道。以下为文献报道的典型案例：（1）埃博拉病毒暴露：Formenty P 等人[8] 报道，在科特迪瓦（Ivory Coast）流行病学调查现场，研究人员对受感染的黑猩猩尸检后，发生了疑似埃博拉病毒气溶胶暴露事件。（2）寨卡病毒感染：Foy BD 等[9] 报道，2008 年，在塞内加尔开展媒介蚊虫监测活动时，2 名美国科学家被伊蚊叮咬后，感染寨卡病毒。（3）利什曼原虫感染：在捕捉和采集鸟类样本过程中，巴西一名博士研究生手部受伤，导致感染了利什曼原虫[10]。（4）汉坦病毒感染：美国疾病控制与预防中心《发病率和死亡率周报》报道，2004 年在弗吉尼亚州野外，美国一名学生解剖啮齿动物后感染汉坦病毒，值得注意的是，该学生在现场操作中未注意手部卫生，也未全程佩戴手套[11]。（5）肺鼠疫感染：美国国家公园管理局一名工作人员在野外对美洲狮尸检时未采取防护措施，直接接触野生动物血液或暴露于气溶胶中，导致肺鼠疫感染[12]。这些案例均表明，传染病溯源、虫媒媒介监测、人兽共患病监测等现场活动中从业人员面临多种复杂且多变的生物安全风险。为了有效预防和控制现场获得性感染，必须加强现场生物安全措施。

2.1.2 现场生物安全研究与规范　自 20 世纪初起，人们已经意识到现场存在生物危害因子暴露的风险。例如，20 世纪 10 年代，巴西医生、寄生虫学家 Carlos Chagas 在进行疟疾现场流行病调查和防控过程中，强调应采取个人防护措施，防止被媒介蚊虫叮咬而感染疾病[13–14]。随着对巴西黄热病和登革热等虫媒传播疾病的深入调查研究，研究人员对现场健康和安全措施的理解和认识进一步加深，最终形成了一份针对巴西公共卫生领域的现场生物安全预防建议书[14]。1970—1980 年，Panwalker AP 等[15] 在对非洲出血热暴发的现场调查中强调了生物安全培训的重要性。2007 年，美国国家公园管理局在发生现场获得性感染事件后，迅速开展人兽共患病风险识别研究，并于 2008 年发布第一版《野生动物安全工作实践》（Safe Work Practices for Working with Wildlife），2020 年发布新的修订版，作为其员工职业健康和安全指导手册的一部分。该文件虽主要针对美国国家公园管理局的员工，但为制定广泛的现场生物安全规范提供了宝贵参考[16]。2010 年，美国哺乳动物学会（American Society of Mammalogists）发布了《新版保护哺乳动物和野生动物研究人员免受汉坦病毒肺综合征感染的指南》（Updated guidelines for protection of mammalogists and wildlife researchers from hantavirus pulmonary syndrome, HPS）[17]，旨在合理匹配现场防护水平与现场活动风险，指导安全开展相关工作。2015 年，美国德克萨斯大学健康科学中心针对执业生物安全专业人员开展调查，发现 61% 的受访机构从事现场样本采集活动，但这些机构的生物安全委员会多数未充分考虑相关生物安全问题，且人员缺乏现场生物安全培训[5]。2022 年，美国亚利桑那州立大学研究人员发表了《蝙蝠研究生物安全实践：现场研究指南》（Biosafety Practices When Working with Bats: A

Guide to Field Research Considerations)[18], 讨论了蝙蝠研究中现场活动的生物安全问题，包括风险评估、培训、个人防护装备、操作规范、消毒及废物处理等。2023 年，美国生态健康联盟（EcoHealth Alliance）编制了《现场生物安全手册》（Field Biosafety Manual，FBSM）初稿，旨在制定一份与世界卫生组织（World Health Organization, WHO）《实验室生物安全手册》类似的国际性现场生物安全指南。该手册包括简介（introduction）、危害识别（hazard identification）、风险评估（risk assessment）、现场生物安全分级（field biosafety levels）、风险缓释流程（risk mitigation protocols）、暴露与应急措施（emergency response and exposure）以及附录（appendix）7 个部分[19]。

2.2 中国现场生物安全现状

2.2.1 现场获得性感染事件 截至2025 年4 月30 日，中国知网（China National Knowledge Infrastructure, CNKI）和万方数据库收录的文献中，未见我国现场获得性感染案例数的相关报道。然而，现场工作人员在实际工作中面临多种感染风险。例如，新冠病毒感染疫情期间，流行病学调查人员在社区开展病例追踪和样本采集时面临新冠病毒感染风险。登革热疫情暴发期间，工作人员在开展社区调查、媒介蚊虫监测时面临携带登革病毒的蚊虫叮咬的风险。人兽共患传染病防控过程中的动物及环境风险监测、疫情溯源和现场处置时，工作人员开展现场动物、环境取样、动物解剖等活动时，面临生物危害因子的直接接触和气溶胶暴露风险。

2.2.2 现场生物安全研究和规范 当前，我国现场安全研究主要聚焦于生存教育、地质勘探、学生实习和部队驻训等场景，内容以衣食住行的基本生存安全、工作安全、医疗救治安全和通信安全为主[20–22]。2024 年，中国科学院武汉病毒研究所联合海南省疾病预防控制中心等 10 余家专业机构发布了《节肢动物野外现场与实验室生物安全专家共识》[7] 和地方标准[23]，该共识明确了医学节肢动物现场活动相关的样本采集、人员防护、样本转运、去污染与废弃物处置和应急等方面的生物安全要求，但仅针对蚊、蜱等医学吸血节肢动物相关的现场活动，研究范围有限。

3 现场生物安全面临的挑战

3.1 现场生物安全风险复杂 现场与受控的实验室有着显著不同，易受到人类行为、生物危害因子及生态环境因素的综合影响，存在高度不确定性。因此，现场生物安全风险评估需综合考虑上述因素，精准评估每项活动的风险，识别潜在的生物危害。开展现场活动生物安全风险评估，最大的挑战之一是如何系统性地识别和评估周围环境中潜在的已知或未知生物危害。例如，特定地点的人兽共患病危险因素不仅取决于地理位置及该地区流行或历史流行的地方性病原体，还受到自然疫源地的开发、动物迁徙、人口密度、交通和贸易往来以及文化生活习惯等多种因素的影响[18]。此外，如果工作地点存在传播病原体的虫媒媒介，风险评估还需涵盖虫媒传播的疾病。

3.2 现场生物风险控制难度大 为了将风险降至合理可行的最低水平，风险管理需制定一系列控制措施。生物安全风险控制措施的层级（hierarchy of controls）按优先级从高到低分为五级：消除或替代（elimination or substitution）、工程学控制（engineering control）、管理控制（administrative controls）、实践和程序（practices and procedures）以及个人防护装备（personal protective equipment，PPE）[24]。与实验室相比，现场工作区域边界模糊，缺乏高效的工程控制设施，需依赖其他控制措施弥补。例如，现场可以通过加强 PPE 的使用，保护人员避免接触生物危害因子。管理控制和实践程序可能需要更加稳健和灵活，以适应现场多变的情况。例如，现场的许多样本可能根本不具有传染性，接触到高浓度、纯病原体的几率相对较低。

3.3 现场生物安全国际共识缺乏 WHO 早在 1983 年发布第一版《实验室生物安全手册》[25]，2020 年已更新至第四版，成为全球实验室生物安全领域的金标准，为各国实验室生物安全管理和体系建设提供了重要指导和宝贵参考，但该手册并未涉及现场生物安全。实验室生物安全风险评估机制已非常完善，其分级明确，防护等级从生物安全一级（biosafety level 1, BSL-1）到生物安全四级（BSL-4）逐级提升，以适配不同风险等级的生物危害因子。相比之下，现场生物安全风险评估如何开展、现场生物安全水平如何分级等问题仍缺乏国际共识，尚未有国际权威组织发布相关指南或规范。

3.4 现场生物安全专业人才紧缺 当前，能够应对实验室环境以外生物安全问题的专业人才，尤其是经验丰富的现场生物安全专业人才严重不足。现场工作的高风险性和艰苦条件使得人才招募和留存面临挑战。现场生物安全需要整合生物学、环境科学、公共卫生和生物安全等多学科知识，但目前交叉学科的人才培养不足。现场生物安全专业人员需接受充分培训，评估现场活动风险和控制措施评估，并审查现场活动方案流程。然而，传统生物安全培训侧重于实验室内部问题，针对现场生物安全的培训体系相对匮乏。为

缓解这一问题，亟须完善教育培训体系、改善工作条件、加强学科交叉，并加大政策和资金支持，以吸引和培养更多具备综合能力的现场生物安全专业人才。

3.5 技术支持与资源不足　当前，现场生物安全管理面临专业设备短缺、资源分配不均以及技术团队专业能力欠缺等问题，严重制约了生物安全控制的有效实施。此外，应急响应机制也存在诸多不足，如应急预案缺乏针对性、跨部门协调机制不畅以及应急演练和培训不足等。为了满足现场生物安全的需求，亟须完善和细化应急预案，增加应急资源投入，强化跨部门协调机制，定期开展应急演练与专业培训，并利用信息技术手段提升应急响应的效率和科学性。通过这些综合措施，不仅能够有效改善甚至解决技术支持与资源配置的问题，还能显著增强应急响应能力，保障现场活动的安全有序进行。

4 总结与展望

公共卫生领域的现场生物安全面临环境条件复杂性和风险多样性带来的严峻挑战。国内外现场生物安全的研究与体系建设尚处于初级阶段。为应对此现状，建议采取以下措施：完善风险评估与控制措施，开发标准化的风险评估工具，制定分级管理制度；构建全面的教育培训体系，涵盖风险评估、个人防护、应急响应等核心模块，推动生物学、环境科学、公共卫生与生物安全等多学科融合，培养综合素质高的现场生物安全专业人才；强化技术支持与资源配置，加大适用于现场的生物安全装备与技术研发投入；建立健全应急预案与响应机制，定期开展应急演练，全面提升快速反应能力。

展望未来，随着全球公共卫生形势的不断变化，现场生物安全的重要性和场景需求将进一步凸显。加强现场生物安全体系建设在实现健康中国战略中具有重要的地位。为此，需构建适用于现场的生物安全法规、政策及标准体系，并搭建系统化的管理框架；同时，应深化国际双边和多边合作，积极参与国际生物安全规范的制定，共同提升全球现场生物安全能力。通过这些举措，我国将不断创新和完善现场生物安全的理论与实践，为全球公共卫生安全治理贡献更多智慧和力量。

数据可用性声明　本研究未产生新的数据。

参考文献

[1] 中华人民共和国中央人民政府. 中华人民共和国生物安全法 [EB/OL]. (2020-10-17)[2024-05-25]. https://www.gov.cn/xinwen/2020-10/18/content_5552108.htm.

[2] Wu G Z. Laboratory biosafety in China: past, present, and future[J]. Biosafety and Health, 2019, 1(2): 56-58.

[3] 新华社. 习近平主持中共中央政治局第三十三次集体学习并发表重要讲话 [EB/OL]. (2021-09-29)[2021-09-29]. https://www.gov.cn/xinwen/2021-09/29/content_5640153.htm.

[4] 张永惠, 林锦炎. 公共卫生现场流行病学案例剖析 [M]. 广州: 广东人民出版社, 2014.

[5] Patlovich S J, Emery R J, Whitehead LW, et al. Assessing the biological safety profession's evaluation and control of risks associated with the field collection of potentially infectious specimens[J]. Applied Biosafety, 2015, 20(1): 27-40.

[6] 王迎春, 刘景泰, 孙沛雯, 等. 生态环境监测全过程病原微生物安全风险识别评估及个体防护 [J]. 中国环境监测, 2022, 38(03): 11-17.

[7] 何昌华, 罗欢乐, 尹飞飞, 等. 医学节肢动物野外现场与实验室生物安全规范专家共识 [J]. 中国热带医学, 2024, 24(2): 119-125.

[8] Formenty P, Hatz C, Le Guenno B, et al. Human infection due to Ebola virus, subtype Côte d'Ivoire: clinical and biologic presentation[J]. The Journal of Infectious Diseases, 1999, 179(S1): S48-S53.

[9] Foy B D, Kobylinski K C, Foy J L C, et al. Probable non-vector-borne transmission of Zika virus, Colorado, USA[J]. Emerging Infectious Diseases, 2011, 17(5): 880-882.

[10] de Brito M E F, Andrade M S, de Almeida É L, et al. Occupationally acquired American cutaneous leishmaniasis[J]. Case Reports in Dermatological Medicine, 2012, 2012(1): 279517.

[11] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Two cases of hantavirus pulmonary syndrome-Randolph County, West Virginia, July 2004[R]. MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report, 2004, 53(46): 1086-1089.

[12] Wong D, Wild M A, Walburger M A, et al. Primary pneumonic plague contracted from a mountain lion carcass[J]. Clinical Infectious Diseases, 2009, 49(3): e33-e38.

[13] Moncayo Á. Carlos chagas: biographical sketch[J]. Acta Tropica, 2010, 115(1/2): 1-4.

[14] Richmond J Y. Anthology of biosafety Ⅵ: arthropod borne diseases[M]. American Biological Safety Association, 2003.

[15] Panwalker A P, Howard S A. Level 4: virus hunters of the CDC[J]. JAMA, 1996, 276(19): 1602-1603.

[16] Taylor T, Buttke D. Safe work practices for working with wildlife[R]. Reston: U. S. Geological Survey, 2020.

[17] Kelt D A, Hafner M S, The American Society of Mammalogists' Ad Hoc Committee for Guidelines on Handling Rodents in the Field. Updated guidelines for protection of mammalogists and wildlife researchers from hantavirus pulmonary syndrome (HPS)[J]. Journal of Mammalogy, 2010, 91(6): 1524-1527.

[18] Aguilar-Setién A, Aréchiga-Ceballos N, Balsamo G A, et al. Biosafety practices when working with bats: a guide to field research considerations[J]. Applied Biosafety, 2022, 27(3): 169-190.

[19] The Wildlife Society. Field biosafety levels: a risk-based solution across scientific disciplines[EB/OL]. [2023-10-17]. https://wildlife.org/events/event/field-biosafety-levels-a-risk-based-solution-across-scientific-disciplines/

[20] 陈云峰, 岳晓, 张景光. 资源环境类野外台站安全现状调查分析及对策建议 [J]. 办公室业务, 2018(24): 105-108.

[21] 岳晓, 陈云峰. 基于文献分析法的国内外野外安全研究现状分析 [J]. 办公室业务, 2020(18): 107-111.

[22] 姜俊, 陈贝贝, 梁小红. 林学专业野外实习安全问题分析及对策研究 [J]. 中国林业教育, 2021, 39(3): 41-44.

[23] 何昌华, 夏菡, 袁志明, 等. DB46T686.1-2025《重要吸血性医学节肢动物生物安全防护规范第 1 部分: 现场》[S]. 海南省市场监督管理局, 2025.

[24] Centers for Disease Control and Prevention. About hierarchy of controls[EB/OL]. [2024-04-10]. https://www.cdc.gov/niosh/hierarchy-of-controls/about/index.html.

[25] World Health Organization. Laboratory biosafety manual, 4th edition[R/OL]. (2020-12-21)[2020-12-21]. https://www.who.int/publications/i/item/9789240011311.