

多源数据融合的病原菌耐药监测支撑平台设计与实现^{*}

郑 环 王松旺 张 睿 孟郁洁 杨永明 陈 强

(中国疾病预防控制中心 北京 102206)

〔摘要〕 目的/意义 建设多源数据融合的病原菌耐药监测支撑平台, 解决多源数据标准化采集、可信共享与智能分析难题。方法/过程 基于最小数据集构建标准化采集框架, 结合区块链技术搭建可信数据交换网络, 实现多源异构数据动态融合; 设计“数据归集-智能分析-风险预警-反馈优化”闭环架构。结果/结论 该平台已整合 12 家机构 1.8 万株菌株数据, 形成 10 项研究报告、防控方案、防控技术指南, 支持病原菌耐药分布特征和传播规律分析; 首次实现医疗、环境、畜牧等多源耐药数据可信融合, 为耐药菌传播阻断提供全链条监测方案。

〔关键词〕 病原菌耐药监测; 多源数据融合; 区块链

〔中图分类号〕 R-058 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2025.06.013

Design and Implementation of a Pathogen Drug Resistance Surveillance Support Platform Based on Multi-source Data Fusion

ZHENG Huan, WANG Songwang, ZHANG Rui, MENG Yujie, YANG Yongming, CHEN Qiang

Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China

〔Abstract〕 **Purpose/Significance** To build a pathogen drug resistance surveillance support platform based on multi-source data fusion, and to solve the problems of standardized collection, reliable sharing and intelligent analysis of multi-source data. **Method/Process** A standardized data collection framework is constructed based on the minimum data set, and a trusted data exchange network is built in combination with blockchain technology to achieve the dynamic integration of multi-source heterogeneous data. A closed-loop architecture of “data aggregation - intelligent analysis - risk early warning - feedback collection” is designed. **Result/Conclusion** The platform has integrated 18 000 strains of bacterial data from 12 institutions, forming 10 research reports, prevention and control plans, prevention and control technical guidelines, supporting the analysis of the distribution characteristics and transmission patterns of pathogen resistance. Moreover, the platform has for the first time achieved reliable integration of drug resistance data from multi-source such as healthcare, the environment, and animal husbandry, providing a full-chain monitoring solution for blocking the spread of drug-resistant bacteria.

〔Keywords〕 pathogen resistance monitoring; multi-source data fusion; blockchain

1 引言

病原菌耐药性问题是全球公共卫生领域面临的

严峻挑战^[1]。随着抗生素广泛使用且临床滥用现象加剧, 耐药菌不断涌现, 多重耐药菌和泛耐药菌扩散加速, 使感染性疾病治疗难度大幅增加, 医疗成本急剧上升, 患者死亡率显著提高^[2-4]。更严重的

〔修回日期〕 2025-04-02

〔作者简介〕 郑环, 助理研究员, 发表论文 10 篇; 通信作者: 陈强。

〔基金项目〕 国家重点研发计划 (项目编号: 2022YFC2602301)。

是，耐药性问题已从医疗机构蔓延至社区和自然环境，形成复杂的耐药生态链，严重威胁公众健康。如不采取有效措施遏制，未来可能面临“无药可用”的困境，甚至引发全球性公共卫生危机。为此，亟须构建多部门协同防控机制，整合临床、环境、社区等多源数据，打破数据壁垒，建立标准化数据采集与共享体系；对多源数据进行深度挖掘与实时分析，实现病原菌耐药趋势的精准预测和动态预警，为科学制定防控策略提供数据支撑，从而提升耐药问题综合治理能力。

我国已初步构建覆盖多领域的病原菌耐药监测网络体系，包括国家细菌耐药监测网、食源性疾病分子溯源网、全军细菌耐药监测网等，分别从临床医疗、食品安全、国防卫生、畜牧养殖等维度追踪超级耐药菌的时空传播特征^[5-6]。然而，各领域耐药监测方法不统一、数据碎片化，全国监测体系建设面临 3 重瓶颈：一是跨领域数据标准不统一导致整合困难；二是传统分析方法难以处理时空异质性数据，无法对多维度监测数据融合建模；三是数据共享缺乏可信机制，机构间数据交换依赖中心化平台，存在权责界定模糊与操作追溯困难等信任壁垒^[7-9]。针对上述问题，本研究基于前期构建的病原菌耐药监测最小数据集，开发多源数据融合的病原菌耐药监测支撑平台。该平台通过多源信息融合技术，统一数据传输接口，实现临床实验室、流行病学调查及公共卫生数据库、动物源耐药监测系统等多渠道数据互联互通，基于区块链技术构建实验室多维联合编码机制，通过全流程可溯源的实时监控与精准追溯体系增强检测证据链公信力，同步拓展跨机构检测结果互信互认范围，实现病原菌耐药数据实时采集、高效整合与智能分析。

2 建设需求

多源数据融合的病原菌耐药监测支撑平台服务于各检测实验室、各级疾控机构及医疗卫生机构。中国疾病预防控制中心负责数据组织管理；各检测

实验室负责数据采集上报；各级疾控机构与医疗卫生机构参与数据交换、信息反馈。平台对接国家细菌耐药监测网、食源性疾病分子溯源网、全军细菌耐药监测网等专业网络。平台以“全域数据协同感知、智能业务闭环驱动”为核心目标，旨在破解跨领域数据割裂与业务孤岛问题。平台建设需求包括 6 个方面：一是明确数据来源及采集途径；二是规划数据存储管理方式；三是设计数据分析流程方法；四是确保结果展示直观清晰；五是平台具备扩展性与兼容性；六是构建完备的用户权限管理和安全机制，保障数据隐私与系统稳定运行。

3 系统实现

3.1 架构设计

整个平台架构遵循“统一数据采集、业务应用共享”思路。底层依托云计算技术平台，建设集数据汇集、融合、统计分析、趋势预测、风险预警等功能于一体的病原菌耐药性监测信息系统。归集各渠道病原菌耐药性监测数据，依托大数据平台，对数据进行验证、清洗、转换、集成、聚集、装载和调度处理，形成大数据平台特有的数据资源库，向第三方平台共享数据。同时与医疗卫生机构和其他部门监测机构的相关业务系统实现数据共享，为其业务提供数据支撑，同时收集监测机构对数据应用的结果反馈。依托平台，借助门户、大屏、移动 App 等方式进行综合展示和应用。平台业务架构，见图 1。平台系统应用架构，见图 2。

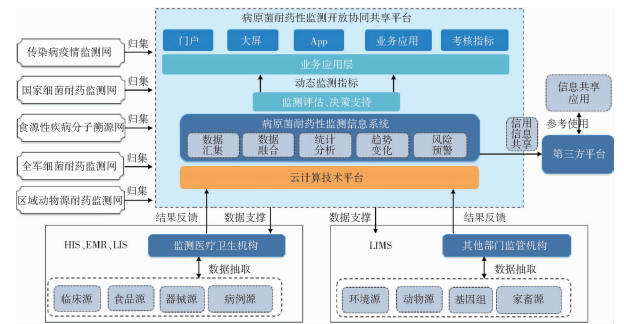


图 1 多源数据融合的病原菌耐药监测支撑平台业务架构

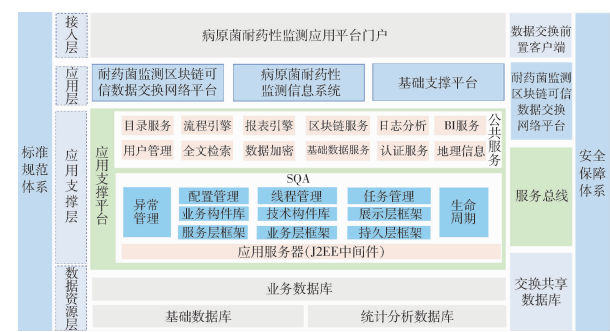


图2 多源数据融合的病原菌耐药监测支撑平台系统应用架构

3.2 功能设计

多源数据融合的病原菌耐药监测支撑平台设有4大功能模块：应用门户，实现各系统统一访问和单点登录；耐药菌监测区块链可信数据交换网络平台，用于数据交换；病原菌耐药性监测信息系统，全面高效收集各类病原菌耐药性数据，并完成数据清洗、整合与深入分析；基础支撑平台为运行提供技术保障及应用服务。平台功能结构，见图3。

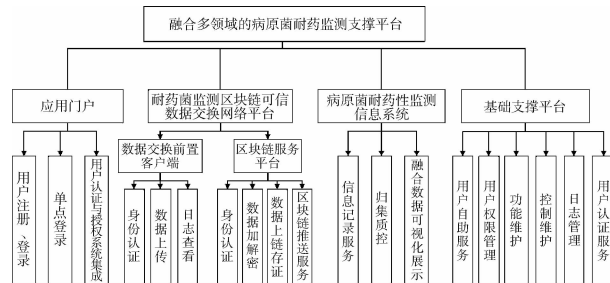


图3 多源数据融合的病原菌耐药监测支撑平台功能结构

3.2.1 应用门户 深度整合医疗、科研及政策制定等多元应用场景，构建基于角色特征的功能模块定制体系，依托虚拟专用网络（virtual private network, VPN）双因子认证与动态权限管理系统^[10]，实现业务系统单点登录及界面元素智能显隐控制，形成网络层、身份层（双因子认证）、数据层（权限隔离）3重防护架构。同时，通过标准化应用程序编程接口（application programming interface, API）与插件框架支持监测功能弹性扩展，在保障信息安全前提下，实现从基础查询到复杂分析、从预设功能到个性定制的全流程服务升级，为跨领域耐药监

测提供兼具精准适配性与生态扩展性的智能交互平台。

3.2.2 区块链可信数据交换网络平台 作为系统核心模块，在保障平台数据隐私性、提升数据透明度方面发挥重要作用^[11-12]，其与传统中心化平台的差异对比，见表1。该平台基于区块链技术，通过实验室机构编码、检测人员编码、样本编码、检测结果编码构成联合编码机制，构建可溯源安全实验室检测信用体系，增强实验室检测证据链，提升公信力，构建可靠信用框架。平台可对样本信息流通、检测过程及结果的每个环节实时监控，确保出现问题时精准定位和快速追溯。平台核心功能如下。一是数据可信存储，利用区块链技术保证数据真实可靠且不可篡改。二是数据加密传输，确保数据在交换期间的安全性和保密性。三是智能合约管理，实现数据交换自动化规则执行与流程控制。四是身份认证与授权，明确参与方身份，赋予相应数据操作权限。五是数据溯源与审计，追踪数据来源和流向，便于审计和监管。六是跨链数据交互，支持与不同区块链系统的数据交换和共享。为激励更多实验室机构积极参与，形成良好数据共享与开放机制，引入积分奖励机制，同步建立数据共享与开放激励智能合约。实验室耐药检测智能合约和激励机制设计，见图4。

表1 本平台方案与传统模式对比

功能维度	传统模式	本平台方案
数据可信度	中心化机构背书	多节点共识存证
隐私保护	数据明文传输	非对称加密+零知识证明
激励机制	行政指令驱动	智能合约积分奖励

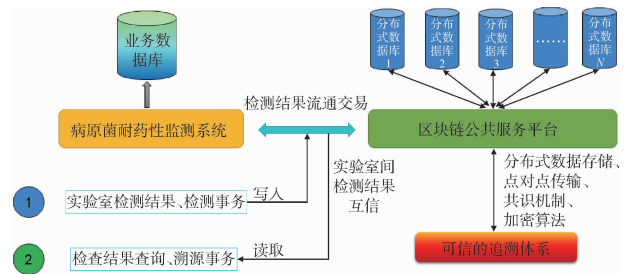


图4 实验室耐药检测智能合约和激励机制设计

3.2.3 病原菌耐药性监测信息系统 病原菌耐药

性监测信息系统全面、高效收集病原菌耐药性数据,清洗、整合、分析数据,以直观易懂的方式呈现给用户,提供数据汇集、融合、统计分析、趋势预测、风险预警等服务。系统兼容多种来源数据,包括各实验室检测系统、医院信息系统、公共卫生数据库等,基于 API 的集成方案,实现数据采集、自动识别、清洗和转换。在归集质控环节,构建最小数据集,对接入数据进行标准化质控,标记不符合规则的数据并反馈给来源单位或负责人。分析结果支持散点图、条形图、区域图、地图、气泡图、漏斗图、树状图等各类图形展示。通过与耐药菌地理信息系统对接,用户可从地理信息维度直观浏览和分析数据。依托云计算技术,平台提供强大计算和存储能力,支持大规模数据处理和分析。

3.2.4 基础支撑平台 提供用户权限管理和基础数据管理功能。用户权限管理采用分级授权机制实现全生命周期管控,基于用户类型智能推送至对应审批链,实现精准赋权。系统管理员可配置权限模板实现批量部署,业务管理员支持可视化动态权限调整,形成身份核验、分级审批、权限配置的闭环管控流程。基础数据管理主要包括元数据、数据元值域代码、全国行政区划等数据管理,提供数据元、基本数据集、基础编码的创建、维护等功能。基础数据管理的内外部编码要做好映射,系统内部使用内部编码,外部数据交换和共享使用外部编码,编码和业务表对应字段均增加版本信息,满足数据查询分析需求。基础编码管理功能包括编码种类管理、编码管理、应用字典管理、编码发布管理、编码转换任务、编码下载管理。

3.3 安全设计

平台安全设计遵循《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》(GB/T 22239—2019)^[13],满足网络安全等保三级和中国疾病预防控制中心信息安全要求。构建涵盖身份认证、权限管理、系统安全、访问控制、功能防护与隐私保护的多维安全体系,具体包括:通过单点登录与身份唯一性验证、密码复杂度校验及登录失败锁定机制保障用户身份安全;按最小必要原则动态分配权限,实现信息分

类与机构人员精准映射;基于数字证书加密认证体系优化单点登录性能,结合登录时间、频次和连接数 3 重管控强化系统访问安全;通过前后端代码审计、数据库连接池防护和接口签名验证阻断恶意注入与非法访问;对隐私数据实施加密存储与实名认证访问,辅以操作留痕及接口交互数据脱敏机制,确保个人隐私保护全流程合规落地^[14]。

4 应用效果

截至 2024 年 10 月,多源数据融合的病原菌耐药监测支撑平台已运行 1 年多,在实时监测、数据交换与分析方面效果显著。实现 12 家不同领域机构间数据交换共享,累计整合多源耐药菌株 1.9 万余株,深入完成 1.8 万余株不同来源(涉及临床患者、医疗环境样本、社区人群、畜牧养殖动物、食品流通环节、野生动物等)菌株耐药谱特征和流行病学特征分析。通过对海量数据的深度挖掘,实现了耐药相关流行病学数据的可视化呈现,绘制出我国耐药菌空间分布图谱,从宏观层面初步揭示了我国耐药菌的空间分布规律与地域流行特征,为后续精准防控策略制定提供了坚实的数据支撑与科学依据。此外,通过平台实现耐药数据与流行病学数据关联,形成描述病原菌耐药分布特征和传播规律的研究报告、防控方案、防控技术指南(含征求意见稿)10 项。用户对平台服务满意度较高,但在人机交互界面与操作流程精细化设计方面仍有提升空间。反馈显示,不同专业背景使用者对界面信息架构个性化需求差异显著,对此要在保持功能完整性基础上,进一步开展用户场景导向的交互优化设计。

5 结语

未来多源数据融合的病原菌耐药监测支撑平台将围绕以下 3 大维度深化研究与应用。一是智能交互优化,构建用户行为驱动的交互迭代机制,基于专家评估结果持续优化界面设计。二是数据深度解析,集成机器学习与多模态数据挖掘技术,实现耐药趋势预测及跨维度关联分析。三是协同网络构

建,融合微生物学、流行病学及区块链赋能的跨域数据平台^[15],构建覆盖农业兽医耐药生态追踪、食源性耐药菌溯源及跨境传播预警的全链条监测矩阵。基于智能合约与标准化接口,达成 12 类异构数据的安全融合与知识生产闭环(涵盖表型预测、基因传播建模及精准防控策略),在保障隐私与知识产权前提下,推动“人-兽-环境”耐药网络传播规律的系统性解析。该范式通过跨界协同突破学科壁垒,为耐药防控提供新思路。

作者贡献: 郑环负责论文撰写;王松旺负责论文修订;张睿、孟郁洁负责文献调研;杨永明负责技术支持;陈强负责论文审核与修订。

利益声明: 所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- 1 Antimicrobial resistance collaborators. Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis [J]. Lancet, 2022, 399 (10325): 629 – 655.
- 2 付盼,王传清,俞蕙,等. 中国儿童细菌耐药监测组 2023 年儿童细菌耐药监测 [J]. 中国循证儿科杂志, 2024, 19 (4): 272 – 280.
- 3 胡付品,郭燕,朱德妹,等. 2021 年 CHINET 中国细菌耐药监测 [J]. 中国感染与化疗杂志, 2022, 22 (5): 521 – 530.
- 4 唐思诗,肖玉玲,李静,等. 2021 年中国老年人群感染病原菌分布和耐药性特征 [J]. 四川大学学报(医学版), 2024, 55 (4): 989 – 994.
- 5 全国细菌耐药监测网. 全国细菌耐药监测网 2021 年风湿免疫科患者分离细菌耐药监测报告 [J]. 中国感染控

- 制杂志, 2023, 22 (10): 1177 – 1184.
- 6 全国细菌耐药监测网. 全国细菌耐药监测网 2018—2021 年中医医院多重耐药菌监测报告 [J]. 中国感染控制杂志, 2023, 22 (10): 1148 – 1158.
- 7 王成尧,李雪岩,杨怡侠. 780 株临床分离多重耐药菌分布及耐药性分析 [J]. 内蒙古医学杂志, 2024, 56 (4): 390 – 396.
- 8 赵丽,胡柳杨,刘晓春,等. 广西壮族自治区耐药监测网三级医院 2015—2021 年血标本病原菌分布及耐药分析 [J]. 中国抗生素杂志, 2023, 48 (5): 586 – 594.
- 9 梁亮,刘晓春,陈杏春,等. 2014—2017 年广西常见耐碳青霉烯类革兰阴性杆菌的耐药情况 [J]. 广西医学, 2020, 42 (24): 3244 – 3247, 3252.
- 10 孟郁洁,王松旺,张鹏,等. VPN 技术在流行病学在线调查系统中的应用 [J]. 中国数字医学, 2019, 14 (8): 42 – 44, 51.
- 11 姜鑫. 基于区块链的医疗数据安全共享模型研究 [D]. 天津: 天津理工大学, 2023.
- 12 梁齐,邵秀花,谢凤,等. 区块链在人类遗传资源信息共享的应用研究 [J]. 中国数字医学, 2024, 19 (6): 37 – 41.
- 13 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求: GB/T 22239—2019 [EB/OL]. [2024 – 11 – 24]. <http://c.gb688.cn/bzgk/gb/showGb?type=online&hcno=BAFB47E8874764186BDB7865E8344DAF>.
- 14 蔡雨蒙,伊向华,单红伟,等. 医疗卫生机构患者个人敏感信息安全使用探究 [J]. 医学信息学杂志, 2024, 45 (1): 83 – 88.
- 15 李宁,白莉. 中美欧食源性细菌耐药性监测系统比较研究及启示 [J]. 食品科学技术学报, 2023, 41 (1): 1 – 9, 21.

关于《医学信息学杂志》启用
“科技期刊学术不端文献检测系统”的启事

为了提高编辑部对于学术不端文献的辨别能力,端正学风,维护作者权益,《医学信息学杂志》已正式启用“科技期刊学术不端文献检测系统”,对来稿进行逐篇检查。该系统以《中国学术文献网络出版总库》为全文比对数据库,可检测抄袭与剽窃、伪造、篡改、不当署名、一稿多投等学术不端文献。如查出作者所投稿件存在上述学术不端行为,本刊将立即做退稿处理并予以警告。希望广大作者在论文撰写中保持严谨、谨慎、端正的态度,自觉抵制任何有损学术声誉的行为。

《医学信息学杂志》编辑部