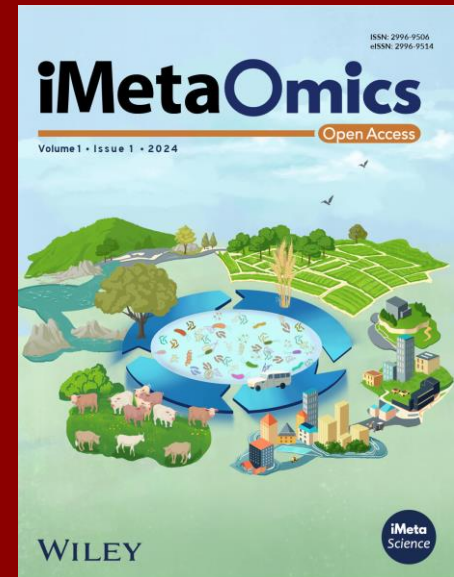




猪肉生产链中 *tet(X4)* 介导替加环素耐药的基因组流行病学与谱系特异性风险分层： 同一健康视角

王钦^{1#}, 袁齐武^{2#}, 陈璇^{1#}, 钟宇婧², 吴克¹, 文仁桥¹,
刘禄雅¹, 王晓芹¹, 李翠¹, 王红宁^{1*}, 雷昌伟^{1*}

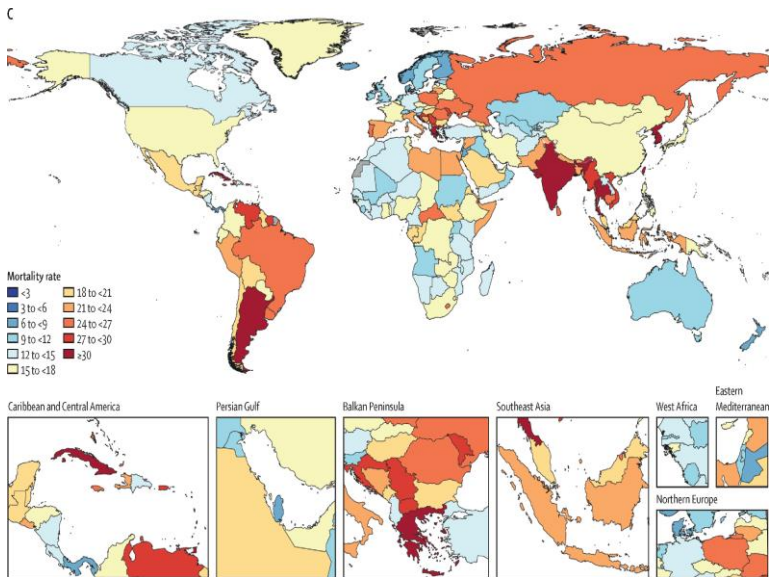
¹四川大学生命科学学院、动物疫病防控与绿色发展四川省重点实验室,
教育部生物资源与生态环境重点实验室
²成都市疾病预防控制中心 (成都市卫生监督所)



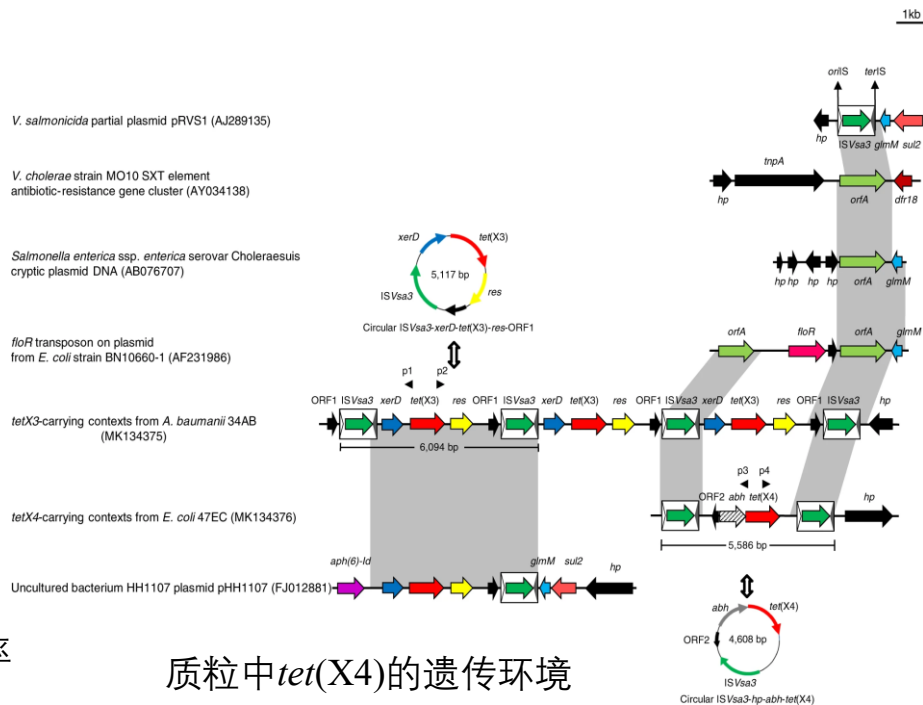
Qin Wang, Qiwu Yuan, Xuan Chen, Yujing Zhong, Ke Wu, Renqiao Wen, Luya Liu., et al. 2026. Genomic epidemiology and lineage-specific risk stratification of *tet(X4)*-mediated tigecycline resistance along the pork production chain: A One Health perspective. *iMetaOmics* 3: e70105. <https://doi.org/10.1002/imo2.70105>

引言

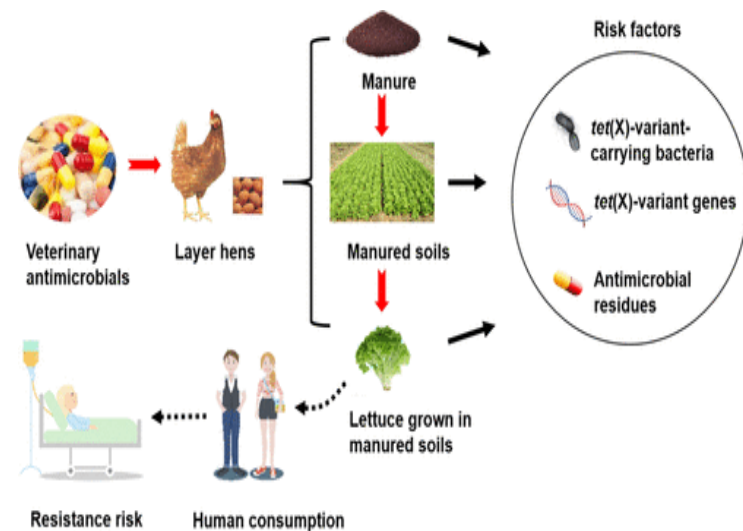
- 抗生素耐药性在全球范围内日益严重，已造成巨大的健康负担；
- 替加环素是治疗多重耐药革兰氏阴性菌感染的最后一道防线，但其疗效正日益受到质粒携带耐药基因 *tet(X4)* 快速传播的影响；
- 目前仍缺乏针对猪肉产业链中 *tet(X4)* 阳性分离株的高分辨率且覆盖从农场到餐桌全链条的系统性数据。



2050年所有年龄段因抗生素耐药性导致的死亡率



质粒中 *tet(X4)* 的遗传环境



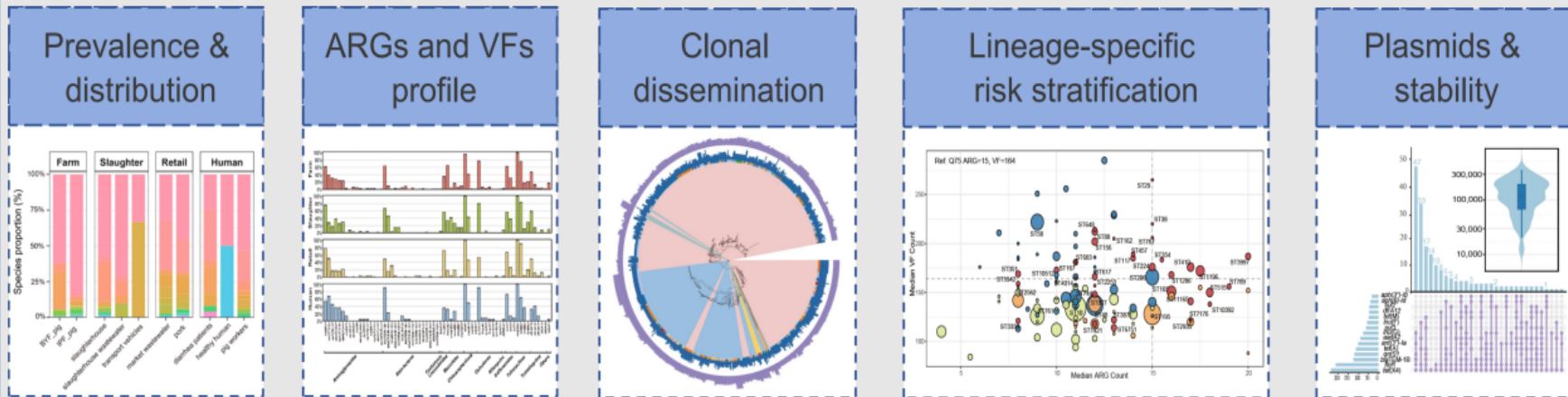
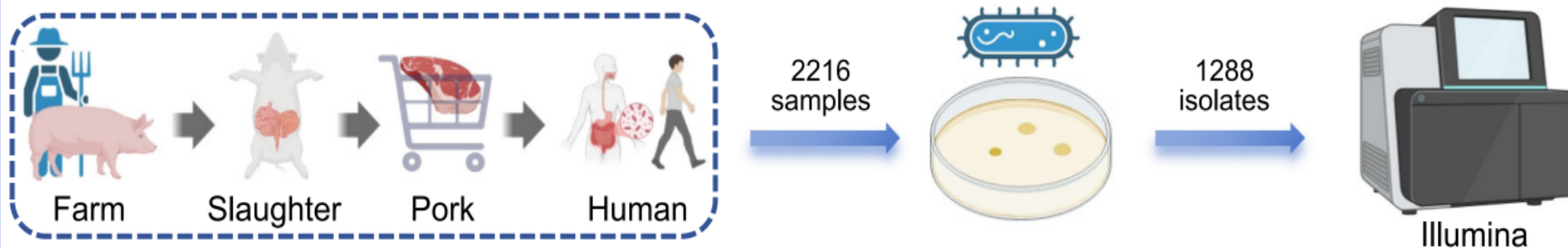
蛋鸡养殖场中 *tet(X)* 向土壤和生菜传播

GBD Antimicrobial Resistance Collaborators. *The Lancet*. 2024.
He T *et al.* *Nature Microbiology*. 2019.
He T *et al.* *Environmental Science & Technology*. 2021.



亮点

Genomic Surveillance of *tet(X4)*-Mediated Tigecycline Resistance Along the Pork Production Chain: A One Health Perspective from Farm to Table



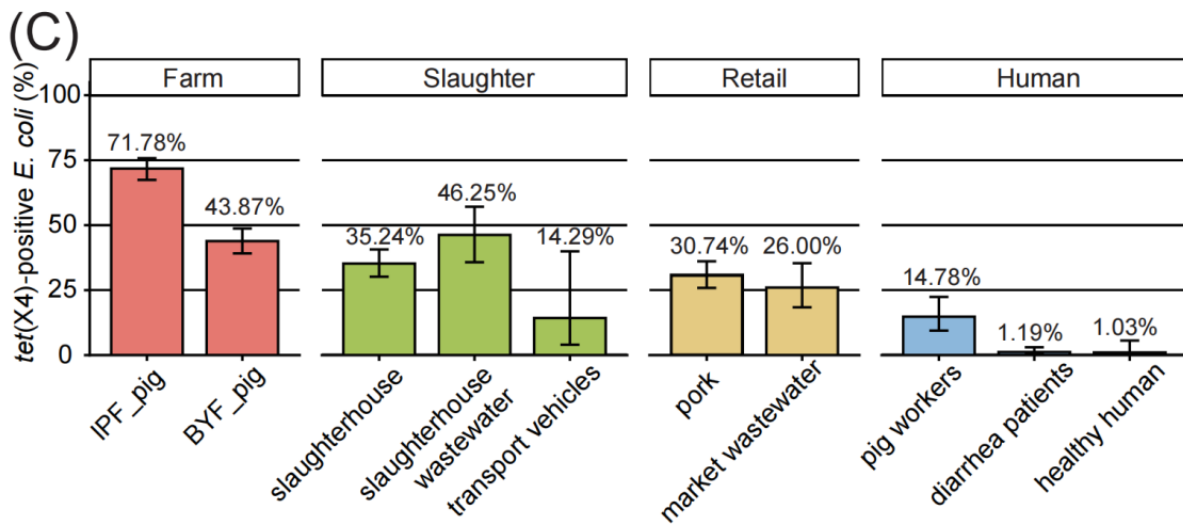
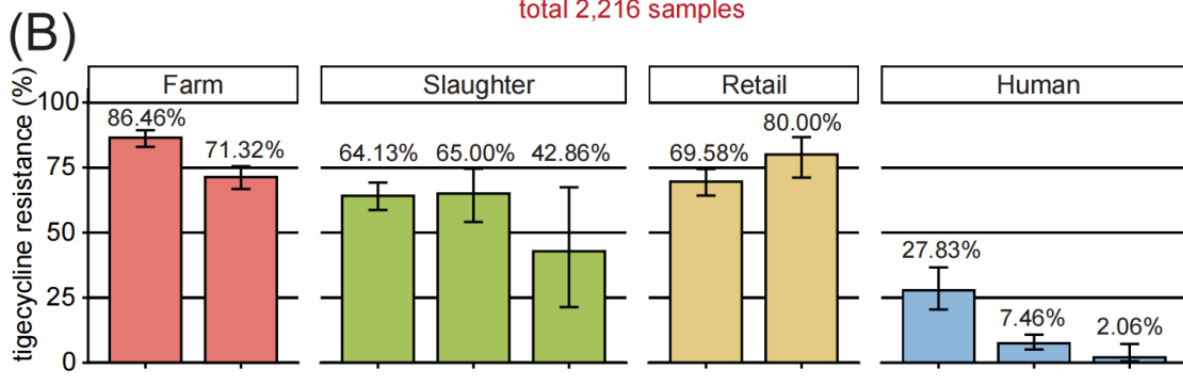
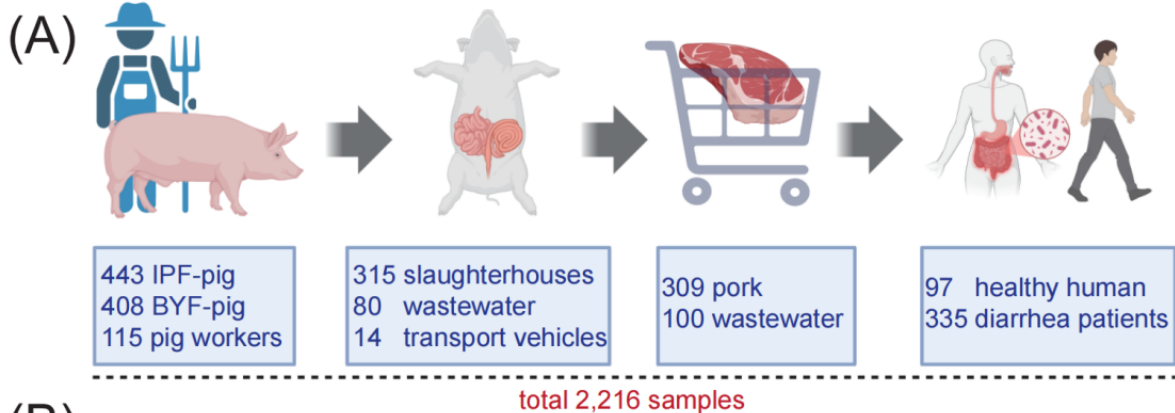
CONCLUSION

- Critical Node: Slaughterhouses act as key enrichment hubs for resistant bacteria, not just passive transit points.
- Transmission Driver: Dissemination is underpinned by clonal expansion and stable plasmid backbones.
- Emerging Risk: Lineage-specific stratification reveals the convergence of virulence and resistance in "Hybrid" high-risk clones.

- 屠宰场是*tet(X4)*阳性大肠杆菌沿猪肉供应链传播的关键富集节点；
- 谱系特异性风险分层揭示了杂交型高风险大肠杆菌克隆；
- 职业暴露的风险高于普通社区接触；
- 保守质粒骨架驱动*tet(X4)*在食品系统中持续存在。



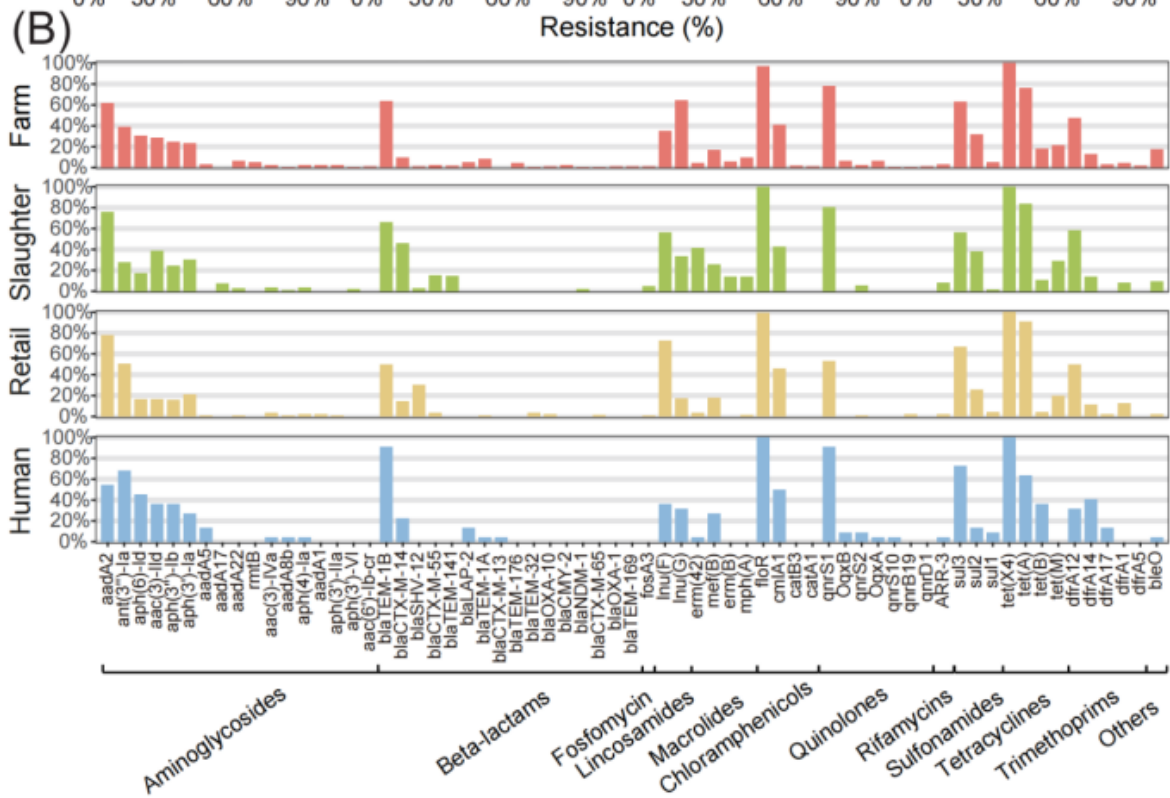
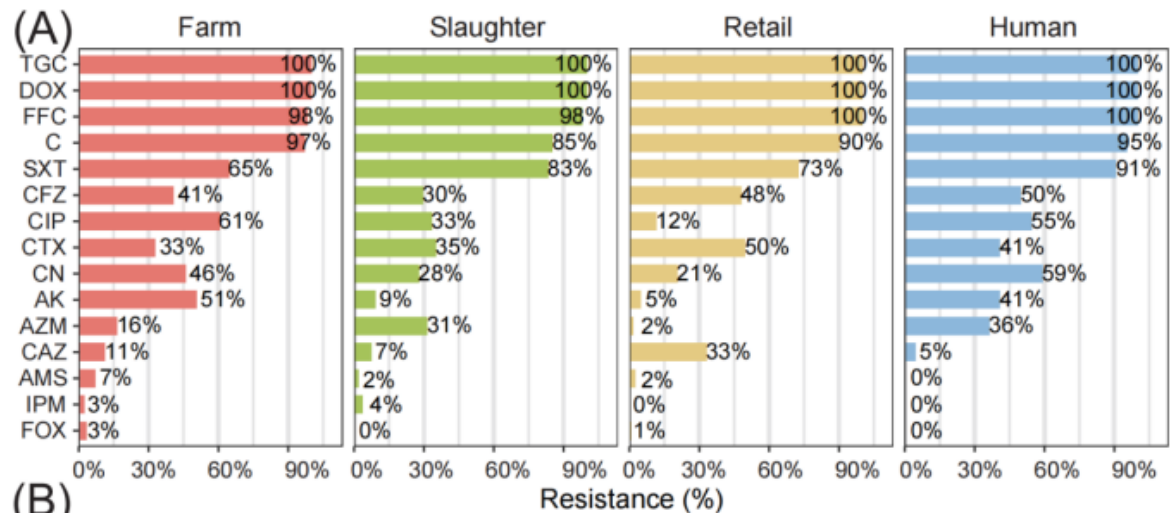
猪肉产业链中 *tet(X4)* 阳性大肠杆菌的流行情况及负担



- 猪肉产业链中基于替加环素选择性富集培养的总回收率为58.12%;
- 菌株群落结构主要由大肠杆菌组成, *tet(X4)*是主要的耐药基因;
- 农场和屠宰场中*tet(X4)*阳性大肠杆菌的检出率最高;
- 养猪场工人*tet(X4)*阳性大肠杆菌的检出率(14.78%)显著高于普通人群(腹泻患者和健康人群, 1.03%-1.19%)

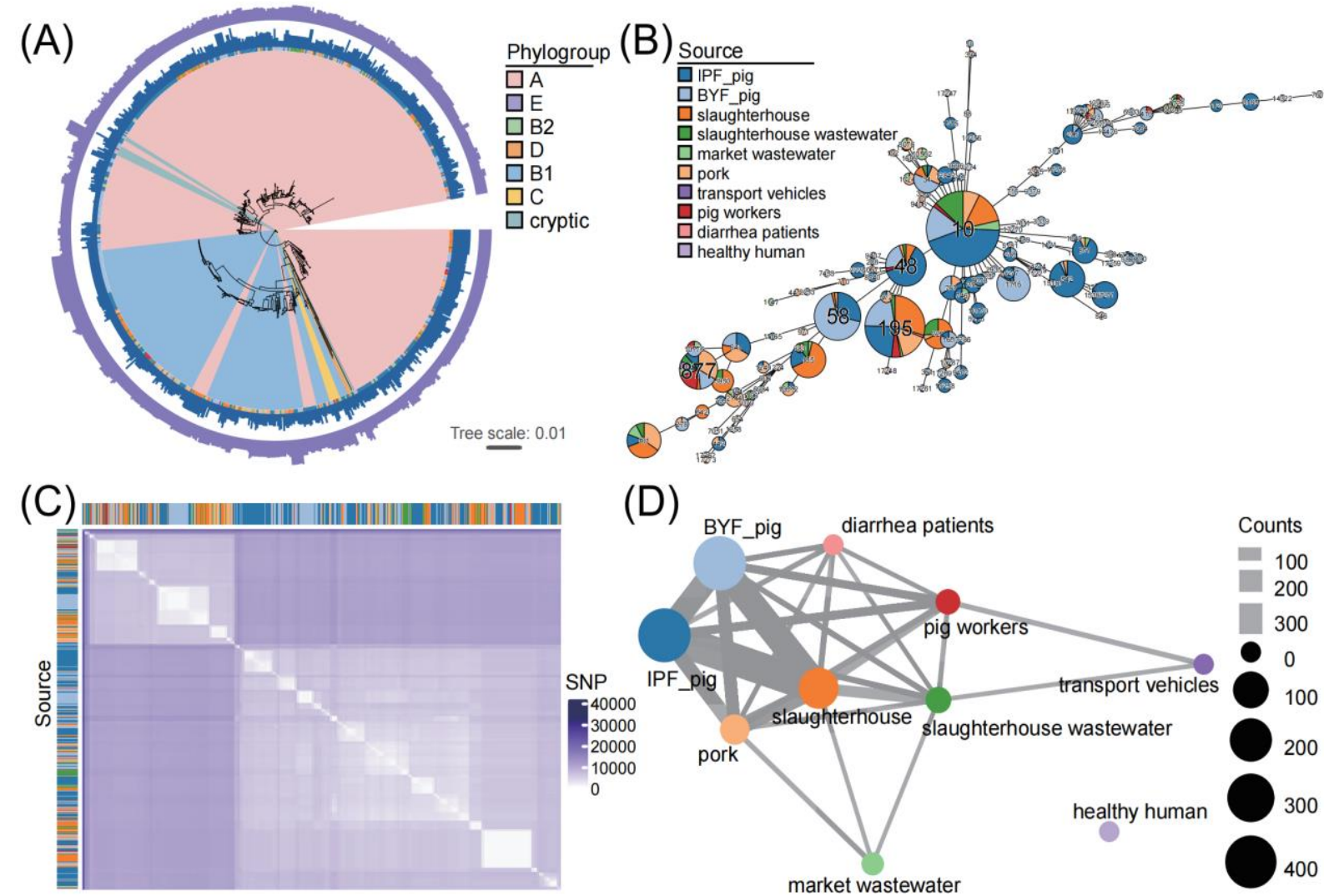


*tet(X4)*阳性大肠杆菌的抗生素耐药谱和毒力谱



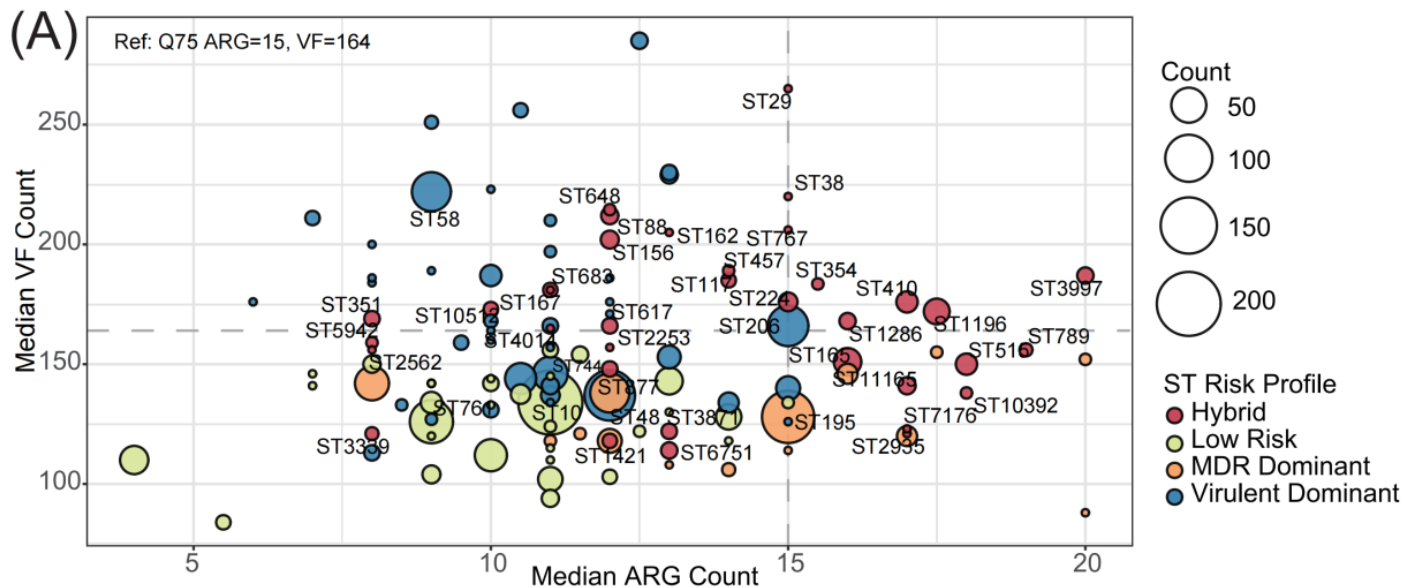
- 对9类15种药物的药敏试验结果显示，多重耐药率为99.9%；
- 共鉴定出212种不同ARGs，养殖场分离株耐药组最广最丰富，屠宰场、零售分离株ARGs谱较窄，人源分离株中PMQR和部分β-内酰胺酶家族更加突出；
- 共检测到730个毒力基因，几个来源组的趋势总体相近，ExPEC是最常见类别，UPEC、EPEC在各来源中低频存在，NMEC仅限于非人源来源，STEC和ETEC几乎缺失；
- 提示*tet(X4)*阳性分离株以肠外致病型而非经典腹泻型致病型为主。

*tet(X4)*阳性大肠杆菌在猪肉生产链中的克隆传播



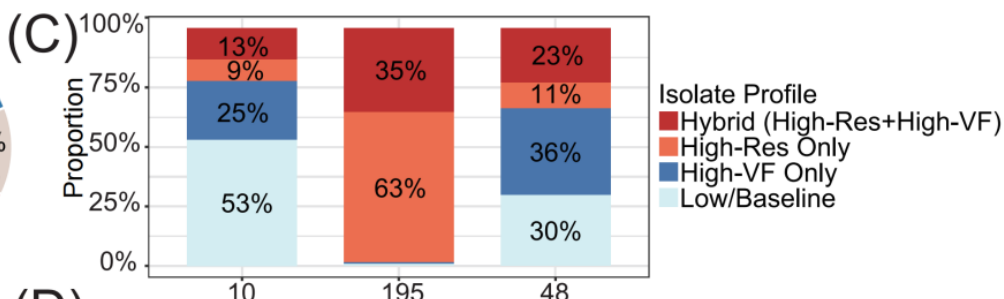
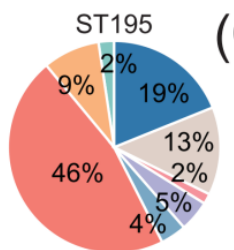
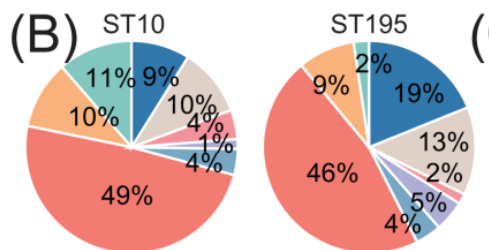
- 对790株*tet(X4)*阳性大肠杆菌进行全基因组分析，发现菌群主要由系统发育群 A (70.0%) 和 B1 (27.2%) 组成；
- ST10和ST195是最主要的优势谱系，且广泛分布于农场、屠宰场、猪肉和废水中；
- 基于 ≤ 10 个核心基因组SNP的标准，共识别出2574次疑似克隆传播事件，其中来源间传播多于来源内传播；
- 克隆传播主要集中在农场—屠宰场—零售环节，表明这些节点是控制*tet(X4)*阳性大肠杆菌传播的关键环节。

*tet(X4)*阳性大肠杆菌的谱系特异性风险分层

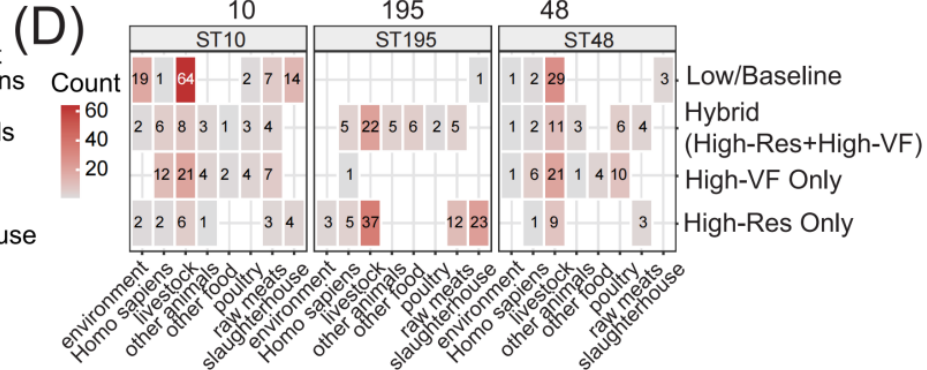
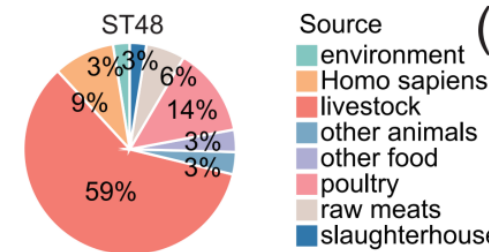


- 整合NCBI数据，构建了1945株*tet(X4)*阳性大肠杆菌的全球数据库用于谱系风险分层分析；

- 基于耐药基因负荷和毒力因子负荷，将菌株划分为Low/Baseline、High-VF only、High-Res only和Hybrid四类，其中Hybrid高风险菌株占26.7%；



- Hybrid菌株呈现耐药性与毒力趋同特征，主要包括EPEC和EAEC，并富集*mcr*、碳青霉烯酶及*tmexCD-toprJ*等关键耐药决定簇；



- 风险结构具有明显的谱系特异性：ST195以高耐药性为主，ST48毒力增强，而Hybrid菌株分布于多个ST背景。



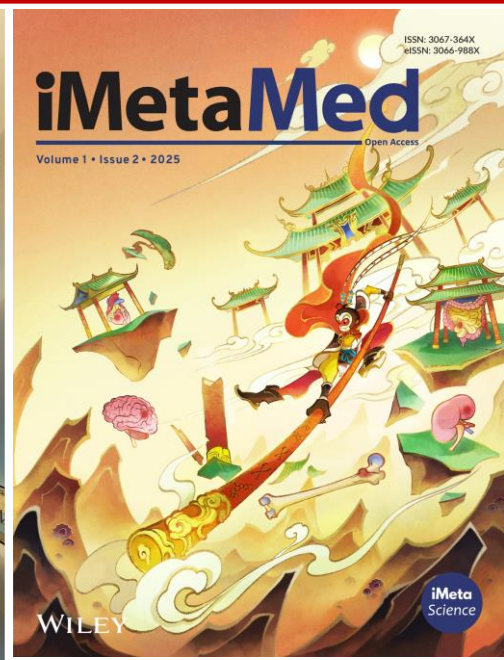
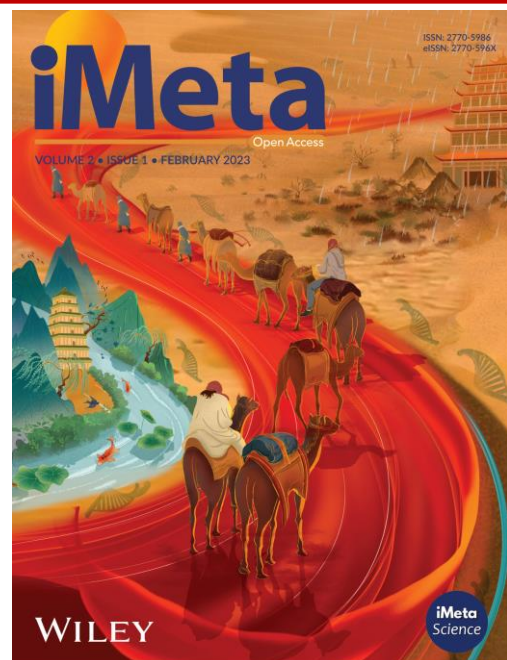
总结

- 本研究基于“同一健康”视角，系统调查了中国猪肉生产链中 $tet(X4)$ 介导替加环素耐药大肠杆菌的流行特征、基因组结构及传播风险；
- 研究发现，养殖场和屠宰场是 $tet(X4)$ 阳性大肠杆菌传播与富集的关键节点，ST10和ST195等优势谱系在农场—屠宰场—零售环节中表现出明显的克隆传播联系；
- 谱系特异性风险分层揭示了两类重要风险路径：一是加工环节中高耐药共生菌的富集，二是特定Hybrid谱系中耐药性与毒力的趋同；
- 携带 $tet(X4)$ 的质粒主要由IncF/IncHI/IncX1骨架驱动，并通过保守的 $rdmC-tet(X4)$ 遗传模块和TA系统维持稳定传播。

Qin Wang, Qiwu Yuan, Xuan Chen, Yujing Zhong, Ke Wu, Renqiao Wen, Luya Liu., et al. 2026. Genomic epidemiology and lineage-specific risk stratification of $tet(X4)$ -mediated tigeicycline resistance along the pork production chain: A One Health perspective. *iMetaOmics* 3: e70105. <https://doi.org/10.1002/imo2.70105>

iMeta(宏): 生物和医学顶级成果发表平台

iMeta WILEY



iMeta (宏)期刊是由宏科学和威立共同出版，对标**Cell**的生物/医学期刊，主编刘双江和傅静远教授，欢迎高影响力的研究、方法和综述投稿。已被**SCIE**、**PubMed**等收录，最新影响因子(IF)33.2，位列全球第65，中国第5，**分区表生物学1区Top**，CNS级成果发表平台，外审平均21天，投稿至发表中位数87天。

iMetaOmics (宏组学)，定位IF>15对标**NC/SA**的生物/医学综合期刊，已被**ESCI**、**PubMed**等收录。

iMetaMed (宏医学)定位IF>15的医学综合期刊，欢迎投稿！



主页: <http://www.imeta.science>

出版社: <https://wileyonlinelibrary.com/journal/imeta>

iMeta: <https://wiley.atyponrex.com/journal/IMT2>

投稿: iMetaOmics: <https://wiley.atyponrex.com/journal/IMO2>

iMetaMed: <https://wiley.atyponrex.com/journal/IMM3>



office@imeta.science

imetaomics@imeta.science



宣传片



iMeta



更新日期
2026/3/30