

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240929007

引用格式: 高悦华, 杨月, 宋宇, 等. 2022—2023年衢州市食品动物源大肠杆菌及肠球菌耐药性比较分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(1): 158–169.

GAO YH, YANG Y, SONG Y, *et al.* Comparative analysis of antibiotic resistance of *Escherichia coli* and *Enterococcus* from food animals in Quzhou City from 2022 to 2023 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(1): 158–169. (in Chinese with English abstract).

2022—2023年衢州市食品动物源大肠杆菌及肠球菌耐药性比较分析

高悦华¹, 杨月², 宋宇², 孙羽瀚², 常江², 夏飞^{1,3*}, 唐标^{2*}

[1. 陕西科技大学食品科学与工程学院(生物与医药学院), 西安 710021; 2. 国科大杭州高等研究院生命与健康科学学院, 杭州 310024; 3. 陕西农产品加工技术研究院, 西安 710021]

摘要: **目的** 了解2022—2023年浙江省衢州市食品动物源细菌耐药性情况。**方法** 两年间在40个畜禽养殖场随机采集畜禽肛拭子690份, 使用选择性培养基分离大肠杆菌和肠球菌, 通过聚合酶链式反应和基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱对其进行鉴定, 并使用微量肉汤稀释法检测不同抗生素对这2种细菌的最小抑菌浓度(minimal inhibitory concentration, MIC)。**结果** 2022年, 从样品中分离的大肠杆菌对四环素(87.2%)的耐药率最高, 其次为磺胺异噁唑(81.1%), 且检测出1株美罗培南和5株黏菌素耐药菌株。2023年, 从样品中分离的大肠杆菌对大观霉素、氟苯尼考、甲氧苄啶/磺胺甲噁唑、头孢噻唑、氧氟沙星耐药率较2022年均下降, 且对美罗培南和黏菌素的耐药率均为0%。2023年从样品中分离的肠球菌对红霉素、克林霉素、氧氟沙星、头孢西丁、磺胺异噁唑、泰妙霉素的耐药率较2022年下降, 而对青霉素、四环素、利奈唑胺较2022年上升。两年均未检测出万古霉素耐药菌株。从两年间分离的两种菌的耐药率、MIC分布和耐药谱分析来看, 大肠杆菌和肠球菌对多数抗生素的耐药性下降, 大肠杆菌下降更明显。**结论** 衢州地区2023年食品动物源大肠杆菌和肠球菌的整体耐药水平相较2022年明显下降, 但仍存在多重耐药现象, 且耐药谱较广, 威胁食品安全和人类健康。因此, 持续监测动物食品中细菌耐药性动态变化至关重要。

关键词: 食品动物源; 大肠杆菌; 肠球菌; 耐药性; 衢州市

Comparative analysis of antibiotic resistance of *Escherichia coli* and *Enterococcus* from food animals in Quzhou City from 2022 to 2023

GAO Yue-Hua¹, YANG Yue², SONG Yu², SUN Yu-Han², CHANG Jiang²,
XIA Fei^{1,3*}, TANG Biao^{2*}

收稿日期: 2024-09-29

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY23C180001); 浙江省“领雁”科技计划项目(2023C03045, 2024C03217); 国科大杭州高等研究院专项资金资助项目(2023HIAS-Y031)

第一作者: 高悦华(1999—), 硕士, 主要研究方向为细菌耐药性与基因组学研究。E-mail: gaoyuehua04@163.com

*通信作者: 夏飞(1987—), 博士, 副教授, 主要研究方向为食品微生物。E-mail: xiafei@sust.edu.cn

唐标(1987—), 博士, 副研究员, 主要研究方向为细菌耐药性与基因组学研究。E-mail: tangbiao@ucas.ac.cn

(1. School of Food Science and Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China; 2. College of Life Sciences, Hangzhou Institute for Advanced Study, University of Chinese Academy of Sciences, Hangzhou 310024, China; 3. Shaanxi Research Institute of Agricultural Products Processing Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the antimicrobial resistance of bacteria in food animal in Quzhou City, Zhejiang Province from 2022 to 2023. **Methods** In the past two years, 690 swab samples from 40 livestock and poultry farms were randomly collected, and *Escherichia coli* and *Enterococci* were separated using selective culture medium. They were then identified by polymerase chain reaction and matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry. The minimum inhibitory concentration (MIC) of different antibiotics against these two bacteria was determined using broth microdilution method. **Results** In 2022, the highest antimicrobial resistance rate of *Escherichia coli* isolated from swab samples to tetracycline was 87.2%, with sulfamethoxazole following at 81.1%. One strain was resistant to meropenem and 5 strains were resistant to colistin. In 2023, the antimicrobial resistance rates of *Escherichia coli* isolated from swab samples to spectinomycin, florfenicol, trimethoprim/sulfamethoxazole, ceftiofur, and ofloxacin were all lower than those in 2022, and the antimicrobial resistance rates to meropenem and colistin were both 0%. The resistance rates of *Enterococci* isolated from swab samples to erythromycin, clindamycin, ofloxacin, cefotaxime, sulfamethoxazole, and tiamulin were all lower in 2023 than in 2022, while the resistance rates to penicillin, tetracycline, and linezolid were higher. No vancomycin-resistant enterococci were detected in either year. From the analysis of the antimicrobial resistance rates, MIC distribution, and antimicrobial susceptibility profiles of *Escherichia coli* and *Enterococci* over the two years, it could be concluded that both bacteria demonstrated decreased resistance to most antibiotics, with *Escherichia coli* showing a more significant reduction. **Conclusion** In 2023, the overall resistance level of *Escherichia coli* and enterococci of food-animal origin in the Quzhou Area has declined significantly compared to 2022. However, multi-drug resistance still exists and the spectrum of resistance is rather broad, posing a threat to food safety and human health.

KEY WORDS: food animal; *Escherichia coli*; *Enterococcus*; antimicrobial resistance; Quzhou City

0 引言

畜禽是主要的食品动物来源,而抗生素长期作为促生长药物及疾病防控药物被广泛用于畜禽养殖中^[1-2]。尽管在一定程度上促进了畜禽养殖业的发展,但残留于畜禽动物肠道及养殖环境中的抗生素对动物源细菌构成了强大的选择压力,导致动物源细菌的耐药谱不断扩大,对常见抗生素药物的耐药率不断升高^[3-5]。此外,动物源细菌是耐药基因和可移动遗传元件的重要储存库,它们可以通过畜禽养殖、屠宰、加工、销售等环节发生广泛的传播转移,造成食品污染,严重威胁公共卫生安全^[6-9]。对食源性细菌耐药性进行长期持续的监测是防控细菌耐药性发展的有效措施。尽管我国已开展动物源细菌耐药性监测,但目前仅在省级层面从个别养殖场采集了代表性菌株。农业农村部动物源细菌耐药性监测网,由中国兽医药品监测所牵头,联合了国内 10 余家成员单位,针对大陆除了西藏自治区的所有省份进行了动物源细菌耐药性监测。该网以省为单位,统计了代表性养殖场的细菌耐药性数据。但是,聚焦地市级水平的食品动物源细菌耐药性研究较少,尤其对同一地

区进行规模化的连续监测研究匮乏。

食品动物经过屠宰、储存、运输、销售等环节,下游的动物性食品极易受到细菌的污染,给相关从业者和消费者带来传播威胁。大肠杆菌(*Escherichia coli*)和肠球菌(*Enterococcus* spp.)分别是革兰氏阴性菌和革兰氏阳性菌的耐药性监测的指示菌,是动物肠道菌群的组成部分,也是动物及临床感染中重要且常见的致病菌之一^[10-12]。本研究对浙江省衢州市的 40 个畜禽养殖场的食品动物进行连续两年的肛拭子采样,随后通过从样品中进行大肠杆菌和肠球菌的分离培养并进行药物敏感性试验,获得 2022 至 2023 年食源性致病菌耐药监测数据并进行比较分析,以期增加对衢州市食品动物源细菌耐药性发展动态的了解,为全国动物源细菌耐药性监测和食品监管部门提供数据依据。

1 材料与方法

1.1 样品来源

2022 年 10—11 月于浙江省衢州市 34 个养殖场收集健康动物肛拭子样品 540 份,2023 年 10—11 月于浙江省衢州市 6 个养殖场收集健康动物肛拭子 150 份(图 1)。用采样拭

子深入畜禽肛门 1~2 cm, 旋转 1 周后采集样品, 然后装入含有运送琼脂的采样管内, 置于低温(2~8 °C)保存, 并及时运回实验室进行大肠杆菌和肠球菌分离前的处理工作, 样品分离情况如表 1 所示。



图 1 采样点分布图

Fig.1 Sampling point distribution map

1.2 材料与试剂

LB (Luria-Bertani) 琼脂培养基、缓冲蛋白胨水(buffered peptone water, BPW)、麦康凯琼脂培养基(Mac Conkey, MAC)、伊红美兰琼脂培养基(eosin-methylene blue agar, EMB)(北京陆桥技术股份有限公司); 肠球菌显色培养基(山东省青岛海博生物技术有限公司); 甘油[生工生物工程(上海)股份有限公司]; 细菌基因组 DNA 提取试剂盒(上海捷瑞生物工程有限公司); GelRed 核酸染料、DL2000 分子标志物、高纯度低电渗琼脂糖(杭州擎科梓熙生物技术有限公司); TAE 溶液(北京兰杰柯科技有限公司); 药敏检测板[一诺康(天津)生物科技有限公司]; 肛拭子采样管(青岛中创汇科生物科技有限公司)。

1.3 仪器与设备

JA5003 电子天平(精度 0.001 g, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司); SW-CJ-1FD 超净工作台(苏州安泰空气技术有限公司); Hic021 台式高速微量离心机[生工生物工程(上海)股份有限公司]; ETC811Plus PCR 扩增仪(苏州东胜兴业科学仪器有限公司); EPS300 电泳仪、HE-120 电泳槽(上海天能科技有限公司); SH-520 凝胶成像系统(杭州申花科技有限公司); 906-ULTS 医用低温冰箱[赛默飞世尔(苏州)仪器有限公司]; 基质辅助激光解吸电离飞行时间质谱仪(德国布鲁克公司)。

表 1 衢州市 2022—2023 年肠球菌及大肠杆菌分离情况
Table 1 Isolation status of *Enterococcus* and *Escherichia coli* in Quzhou City from 2022 to 2023

分离年份	养殖场	畜禽类别	拭子个数	肠球菌分离数	肠球菌药敏数	大肠杆菌分离数	大肠杆菌药敏数
2022	A1	猪	15	15	10	15	10
	A2	猪	15	15	10	15	10
	A3	猪	15	15	10	15	10
	A4	猪	15	15	10	15	10
	A5	猪	15	15	10	15	10
	A6	鸭	15	15	10	15	10
	A7	蛋鸡	25	25	20	25	20
	A8	猪	15	15	10	15	10
	A9	肉鸡	25	25	20	25	20
	A10	猪	15	15	10	15	10
	A11	猪	15	15	10	15	10
	A12	猪	15	15	10	15	10
	A13	猪	15	15	10	15	10
	A14	猪	15	15	10	15	10
	A15	鸡	15	15	10	15	10
	A16	蛋鸡	15	15	10	15	10
	A17	肉鸡	15	15	10	15	10
	A18	肉鸡	15	15	10	15	10
	A19	鸡	15	15	10	15	10
	A20	猪	15	15	10	15	10
	A21	猪	15	15	10	15	10
	A22	猪	15	15	10	15	10
	A23	猪	20	20	10	20	10
	A24	猪	20	20	10	20	10
	A25	肉鸡	15	15	10	15	10
	A26	肉鸡	15	15	10	15	10
	A27	肉鸡	15	15	10	15	10
	A28	肉鸡	15	15	10	15	10
	A29	肉鸡	15	15	10	15	10
	A30	肉鸡	15	15	10	15	10
	A31	肉鸡	15	15	10	15	10
	A32	肉鸡	15	15	10	15	10
	A33	肉鸡	15	15	10	15	10
	A34	肉鸡	15	15	10	15	10
2023	B1	猪	25	20	20	25	20
	B2	猪	25	25	20	25	20
	B3	猪	25	25	20	25	20
	B4	蛋鸡	25	25	20	22	20
	B5	猪	25	25	20	24	20
	B6	蛋鸡	25	23	20	24	20
合计			690	683	480	685	480

1.4 试验方法

1.4.1 大肠杆菌和肠球菌的分离培养

将采样拭子在装有 5 mL BPW 增菌管中来回搅动数

次, 37 °C 培养条件下增菌 12 h, 用 10 μL 接种环沾取混浊的菌液分别在 MAC 平板和肠球菌显色平板上划线, 置于 37 °C 培养箱中培养 16~24 h; 在 MAC 和肠球菌显色平板上分别挑取粉红色单菌落和紫色单菌落, 再次于 EMB 平板和肠球菌显色平板上划线并纯化培养, 然后挑取金属绿色单菌落和紫色单菌落划线于 LB 平板, 在 37 °C 培养箱中培养 16~24 h, 最后使用无菌棉签从 LB 平板上刮取部分菌落转移至含有 1 mL 的 25% 的无菌甘油的冻存管中, 充分混匀, 使得细菌充分溶解在 25% 甘油中。在冻存管上写好编号和日期, 置于 -80 °C 冰箱中保存。

1.4.2 细菌鉴定

将保存的细菌接种于 LB 平板上, 并在 37 °C 条件下培养 16~24 h。使用煮沸法提取细菌 DNA 后经聚合酶链式反应 (polymerase chain reaction, PCR) 鉴定大肠杆菌和肠球菌。以基因组 DNA 为模板, 使用引物 *EC-F*、*EC-R*; *CQ-F*、*CQ-R* (表 2) 扩增相应的基因序列, 经 2% 琼脂糖凝胶电泳检测 PCR 扩增产物, 采用 1×TAE 缓冲液, 120 V 恒压电压电泳 30 min 后, 凝胶图像系统拍摄确认。菌株 ATCC 25922 和 ATCC 29212 分别作为大肠杆菌和肠球菌的质控菌株。PCR 反应条件: (1) 大肠杆菌。预变性, 95 °C, 4 min; 变性, 95 °C, 30 s; 退火, 58 °C, 30 s; 延伸, 72 °C, 20 s, 共 35 个循环; (2) 肠球菌。预变性, 95 °C, 4 min; 变性, 95 °C, 30 s; 退火, 55 °C, 30 s; 延伸, 72 °C, 30 s, 共 35 个循环; 扩增体系为 30 μL。分离的菌株通过细菌鉴定专用的飞行时间质谱进行复核。

表 2 鉴定大肠杆菌和肠球菌的 PCR 引物
Table 2 PCR primers for identifying *Escherichia coli* and *Enterococcus*

引物名称	引物序列	退火温度 /°C	扩增长度 /bp
<i>EC-F</i>	CCAGGCAAAGAGTTTATGTTGA	55	212
<i>EC-R</i>	GCTATTCCTGCCGATAAGAGA		
<i>CQ-F</i>	TCAACCGGGGAGGGTCATT	55	658
<i>CQ-R</i>	ATTACTGCGATTCCGG		

1.4.3 药物敏感性试验

从 -80 °C 冰箱中取出冻存管, 将大肠杆菌和肠球菌复苏后, 再次分别接种于 LB 琼脂培养基上, 37 °C 过夜培养。

参照美国临床实验室标准化委员会 (Clinical and Laboratory Standards Institute, CLSI) 的 M100-S31 文件^[13]中推荐的微量肉汤稀释法, 使用革兰氏阴性需氧菌药敏检测板测定大肠杆菌对 16 种常见抗生素的药敏表型^[14-15], 包括氨苄西林 (ampicillin, AMP)、阿莫西林/克拉维酸 (amoxicillin/clavulanic acid, A/C)、庆大霉素 (gentamicin, GEM)、大观霉素 (spectinomycin, SPT)、四环素 (tetracycline, TET)、氟苯尼考 (florfenicol, FFC)、磺胺异恶唑 (sulfaminoxazole, SF)、甲氧苄啶/磺胺甲噁唑 (sulfamethoxazole/trimethoprim, SXT)、头孢噻呋 (ceftiofur, CEF)、头孢他啶 (ceftazidime, CAZ)、恩诺沙星 (enrofloxacin, ENR)、氧氟沙星 (ofloxacin, OFL)、美罗培南 (meropenem, MEM)、安普霉素 (apramycin, APR)、黏菌素 (colistin, CL)、乙酰甲喹 (mequindox, MEQ)。使用革兰氏阳性需氧菌药敏检测板测定肠球菌对 18 种抗生素的药物敏感性, 青霉素 (penicillin, PEN)、A/C、红霉素 (erythromycin, ERY)、克林霉素 (clindamycin, CLI)、ENR、OFL、CEF、头孢西丁 (cefoxitin, CFX)、磺胺异恶唑 (sulfisoxazole, SF)、苯唑西林 (oxacillin, OXA)、万古霉素 (vancomycin, VAN)、SXT、TET、FFC、泰妙菌素 (tiamulin, TIA)、替米考星 (tilmicosin, TIL)、GEM、利奈唑胺 (linezolid, LZD)。耐药折点参考 CLSI (M100-S26、M45-A2、VET01-A4) 制定的值。另外, 由于国际上缺少 APR、MEQ 对大肠杆菌耐药折点的判断依据, 所以耐药性未统计。对于没有折点标准的, 通过药物最小抑菌浓度 (minimal inhibitory concentration, MIC) 的分布图展示比较。

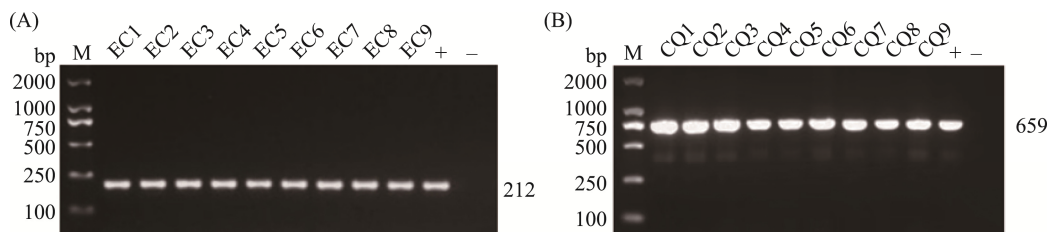
1.5 数据处理

利用 Excel 2016 软件及 χ^2 (卡方检验) 对药敏检测数据进行记录与分析, 采用 Graphpad Prism 10.0 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 大肠杆菌和肠球菌的分离结果

本研究共获得大肠杆菌 685 株 (分离率 99.2%)、肠球菌 683 株 (分离率 98.9%), 鉴定结果如图 2 所示。选取 2022 年大肠杆菌、肠球菌各 360 株, 2023 年大肠杆菌及肠球菌各 120 株进行药物敏感性试验 (表 1)。



注: M. 分子量标准 DNA Maker (DL 2000); +. 阳性对照; -. 阴性对照。

图 2 大肠杆菌(A)和肠球菌(B)的琼脂糖凝胶鉴定

Fig.2 Identification of *Escherichia coli* (A) and *Enterococcus* (B) by agarose gel electrophoresis

2.2 大肠杆菌的耐药情况

对衢州市 2022 年分离得到的 360 株大肠杆菌进行药敏试验, 结果如图 3 所示(其中 APR 和 MEQ 没有定义折点, 不统计耐药率), 大肠杆菌对 14 种抗生素的耐药率从大到小为: TET(87.2%)>SF (81.1%)>AMP (75.6%)>FFC (74.4%)>SPT (73.6%)=SXT (73.6%)>CEF (25.8%)>GEM (22.5%)>ENR (19.4%)>OFL (19.1%)>A/C (15.3%)>CAZ (6.7%)>CL (1.4%)>MEM (0.3%)。值得注意的是, 本研究检测到 1 株 MEM 耐药、5 株 CL 耐药菌株。360 株大肠杆菌对 16 种抗生素的 MIC 值分布存在差异, 其中 SF 的 MIC 有 78.1% (283/360) 大于 512 $\mu\text{g/mL}$, 表现出较高的耐药水平, CAZ、MEM 的 MIC 分布在较低的水平。CL 的 MIC 在小于 2 $\mu\text{g/mL}$ 的范围内呈现正态分布(图 4)。

2023 年, 分离得到的 120 株大肠杆菌对 14 种抗生素的耐药率从大到小排列为: A/C (94.2%)>SF (86.7%)>TET (84.2%)>AMP (69.2%)>FFC (61.7%)>SXT (58.3%)>SPT (45.0%)>ENR (12.5%)>CEF (11.7%)>OFL (10.8%)>CAZ (10.0%)>GEM (7.50%)>MEM (0.00%)=CL (0.00%)。从 MIC 分布来看, 大肠杆菌对 GEM、CEF、CAZ、OFL、CL 和 MEM 的 MIC 均呈现出敏感趋势, 对 A/C、TET、SF、SXT 则表现出高水平耐药。

2023 年, 从样品中分离的大肠杆菌对 SPT、FFC、

SXT、CEF、OFL 耐药率较 2022 年均显著下降, 且对 MEM 和 CL 的耐药率均为 0%(图 3)。2023 年, 对 MEM 及 CL 耐药的大肠杆菌均未被检出。而 2022 年, 分离到 1 株 MEM 耐药和 5 株 CL 耐药的大肠杆菌。但是, 2023 年分离的大肠杆菌对 A/C 的耐药率高于 2022 年。另外, 从 MIC 分布来看(图 4), 2023 年 MEQ 的耐药水平略高于 2022 年。

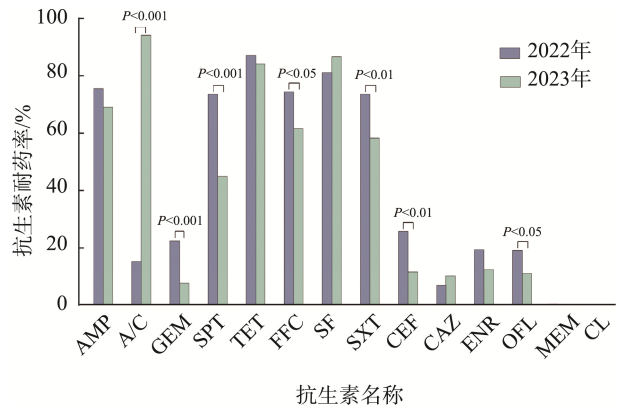


图 3 2022—2023 年衢州市大肠杆菌的耐药率比较

Fig.3 Comparison of antimicrobial resistance rates of *Escherichia coli* in Quzhou City from 2022 to 2023

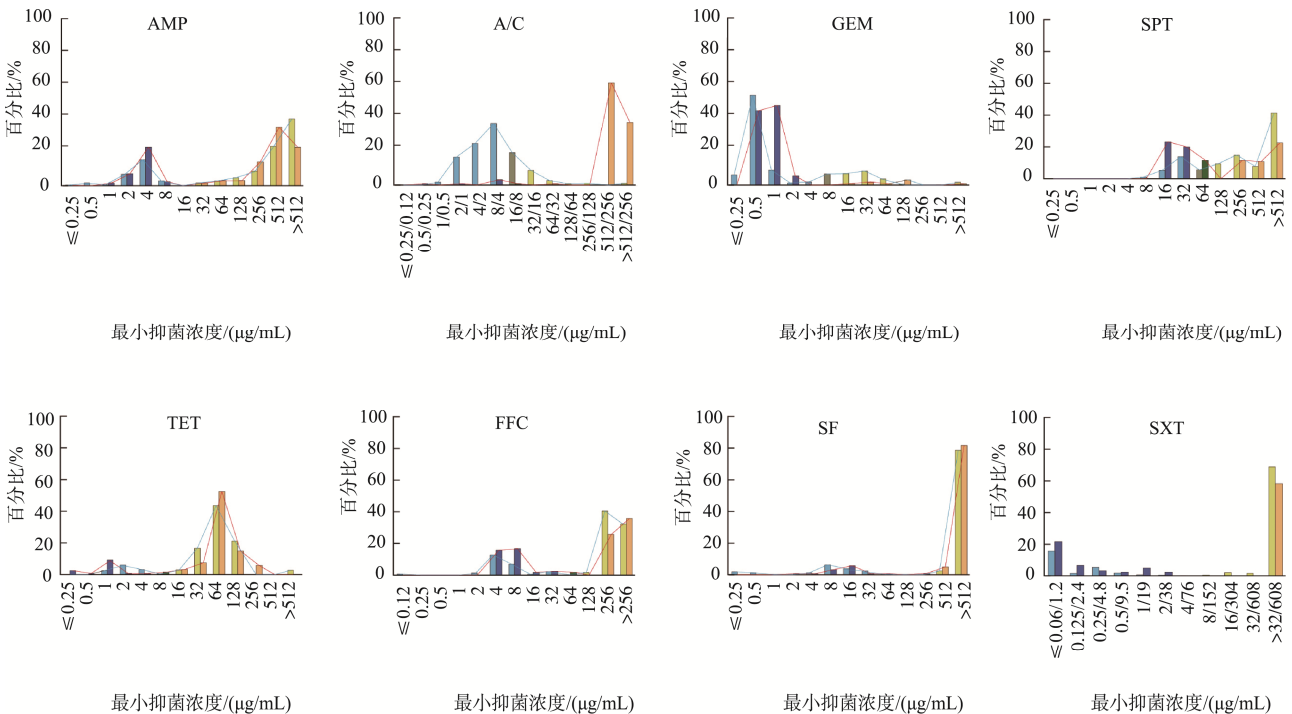


图 4 2022—2023 年衢州市 16 种抗生素对大肠杆菌的 MIC 分布

Fig.4 MIC distribution of *Escherichia coli* to 16 kinds of antimicrobials in Quzhou City from 2022 to 2023

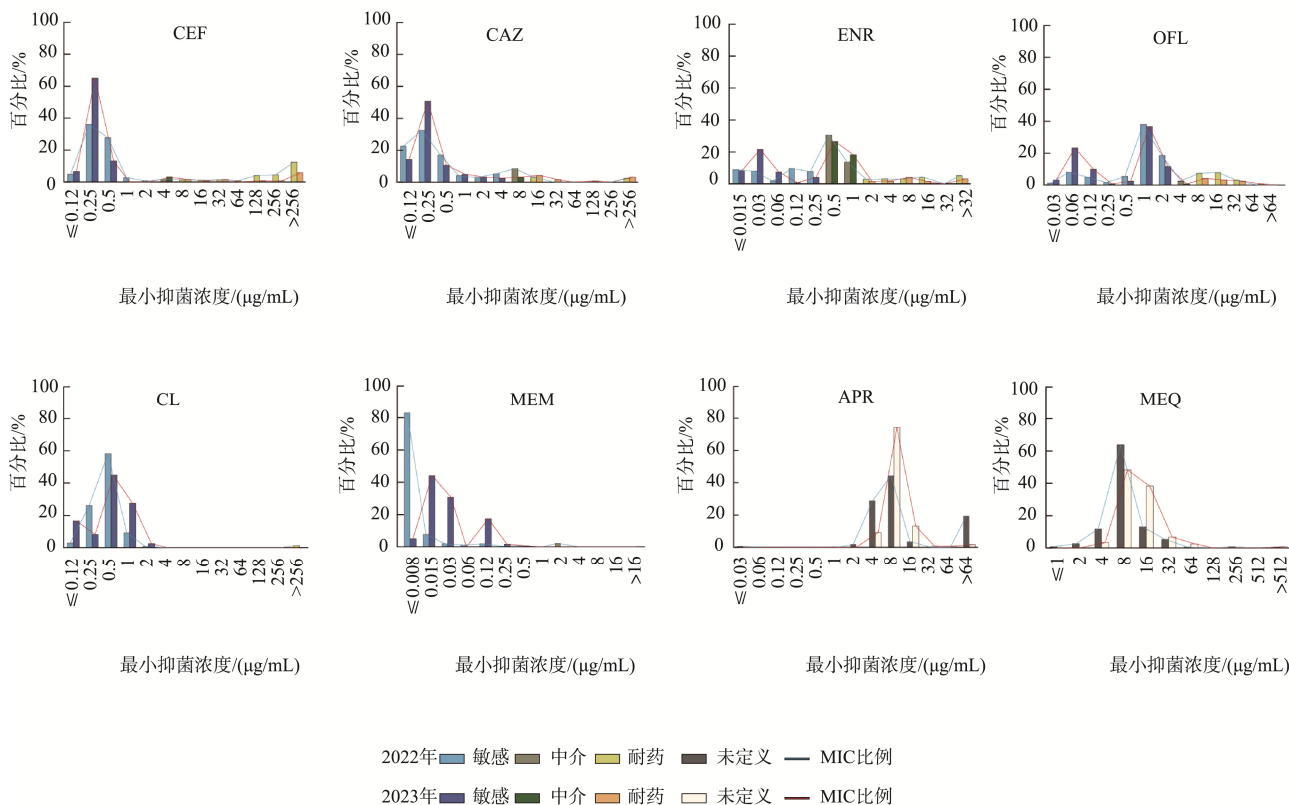


图 4(续) 2022—2023 年衢州市 16 种抗生素对大肠杆菌的 MIC 分布
 Fig.4 MIC distribution of *Escherichia coli* to 16 kinds of antimicrobials in Quzhou City from 2022 to 2023

2.3 肠球菌的耐药情况

对衢州市 2022 年分离得到的 360 株肠球菌进行药敏试验, 结果如图 5 所示。肠球菌对 18 种抗菌药物的耐药率从大到小排列为: TIA (96.4%)>CFX (96.1%)>CLI (94.7%)>SF (93.3%)>OXA (91.9%)>ERY (86.1%)>TIL (84.7%)>CEF (78.1%)>FFC (73.3%)>OFL (70.0%)>SXT (61.7%)>GEM (53.3%)>LZD (38.9%)>TET (26.9%)>ENR (25.3%)>PEN (10.0%)>A/C (6.1%)>VAN (0.0%)。从 MIC 的分布来看, ERY、CLI、CFX、SF、OXA、TIA、TIL 大多分布在高 MIC 值区域, 其中 ERY 的 MIC 有 63.3% (76/120) 大于 256, 未检测出 VAN 耐药菌株。

2023 年衢州市的耐药率从大到小为: OXA (89.2%)>TIL (85.8%)=CLI (85.8%)>TIA (83.3%)>CEF (82.5%)=CFX (82.5%)>ERY (76.7%)=TET (76.7%)>SXT (71.7%)>FFC (67.5%)>SF (62.5%)>GEM (55.8%)=LZD (55.8%)>OFL (45.0%)>PEN (21.7%)>ENR (20.8%)>A/C (7.5%)>VAN (0.0%)。120 株肠球菌对 18 种抗生素的 MIC 值分布存在较大的差异, 对 PEN、A/C、VAN 的 MIC 值处于较低水平, ENR 和 OFL 分布较平均, 但值得注意的是 ERY、CFX、TIL 的 MIC 值几乎全部位于高水平(图 6)。

2023 年从样品中分离的肠球菌对 ERY、CLI、OFL、

CFX、SF、TIA 的耐药率较 2022 年下降, 而对 PEN、TET、LZD 较 2022 年上升。两年均未检测出 VAN 耐药菌株。两年分离的肠球菌对抗生素的 MIC 跨度都比较广, 在相似的耐药率下, 通过 MIC 的分布可以看出, 2023 年衢州市分离的肠球菌对 OXA 呈现出更高的耐药水平(图 6)。

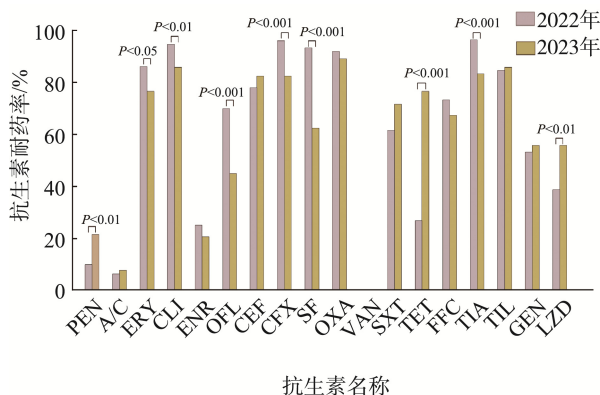


图 5 2022—2023 年衢州市肠球菌的耐药率比较
 Fig.5 Comparison of antimicrobial resistance rates of *Enterococcus* in Quzhou City from 2022 to 2023

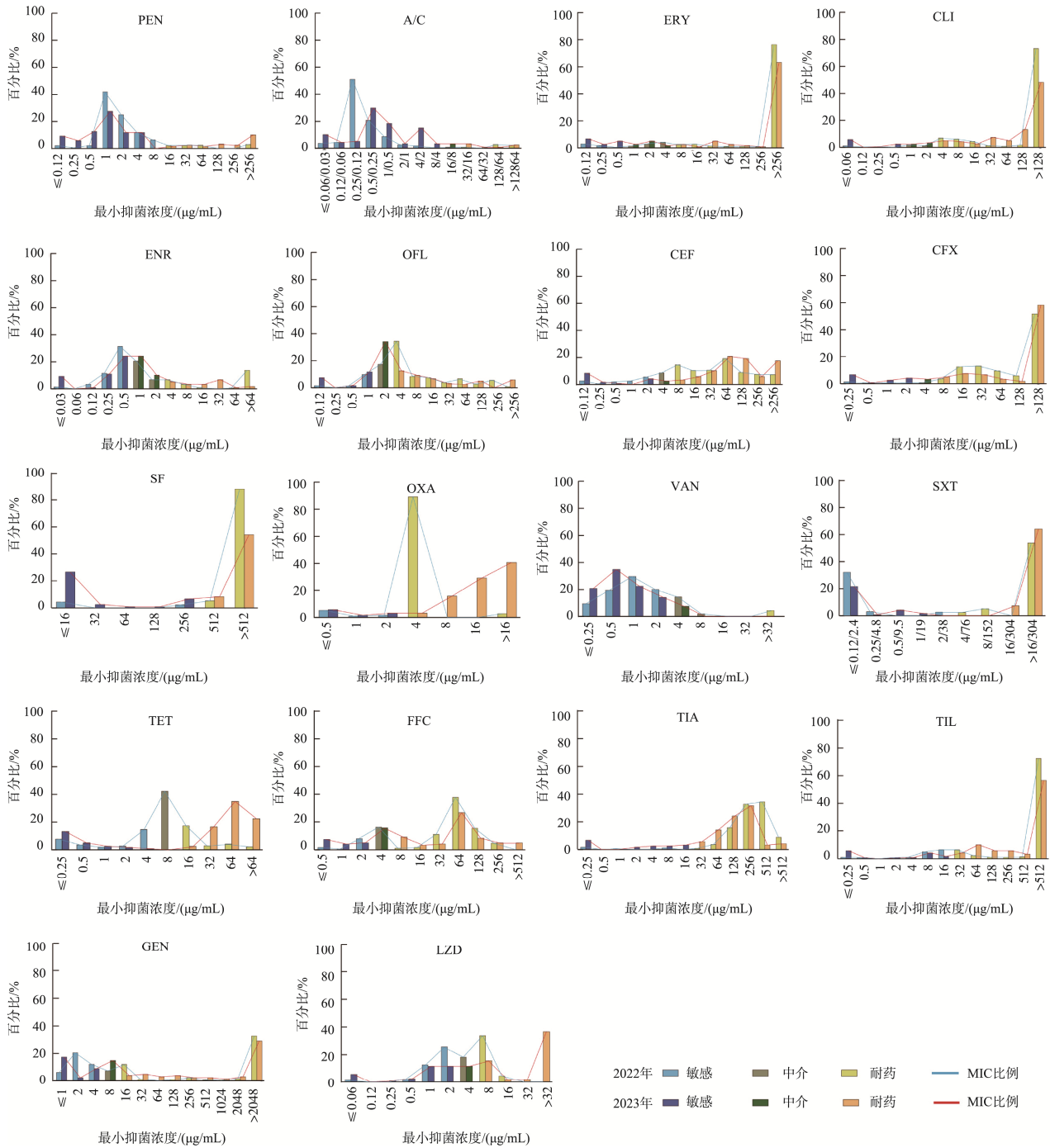


图 6 2022—2023 年衢州市 18 种抗生素对肠球菌的 MIC 分布
 Fig.6 MIC distribution of *Enterococcus* to 18 kinds of antimicrobials in Quzhou City from 2022 to 2023

2.4 多重耐药性分析

对 2022 年衢州市大肠杆菌的耐药谱分析发现, 有 3 株大肠杆菌对 11 种抗生素同时耐药, 仅有 15 个菌株对全部抗生素表现出敏感, 耐药谱型共有 81 种, 其中 AMP-SPT-TET-FFC-SF-SXT 的耐药谱型占比最高(20.3%), 其次为 SPT-TET-FFC-SF-SXT (5.3%)(表 3)。另外分析发现,

2023 年耐药谱最广的 1 种谱型可对 10 种抗生素耐药, 为 AMP-GEM-SPT-TET-FFC-SF-CAZ-ENR-OFL (1.7%), 数量占比最高的耐药谱型为 AMP-SPT-TET-FFC-SF (15.0%), 其次为 AMP-TET-FFC-SF-OFL (13.3%)和 AMP-SPT-TET-FFC-SF-OFL (9.2%)(表 4)。2022—2023 年衢州市大肠杆菌的多重耐药情况较为普遍, 但 2023 年的耐药谱型相较前一年减少 34 种。2022 年 83.6%的大肠杆

表 3 衢州市 2022 年大肠杆菌的耐药谱
Table 3 Antimicrobial resistance profiles of *Escherichia coli* in Quzhou City in 2022

耐药谱	个数	百分比/%
AMP-SPT-TET-FFC-SF-SXT	73	20.3
SPT-TET-FFC-SF-SXT	19	5.3
AMP-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF	17	4.7
-	15	4.2
AMP-TET-FFC-SF	15	4.2
AMP-GEM-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF	13	3.6
AMP-GEM-SPT-TET-FFC-SF-SXT	12	3.3
TET	12	3.3
AMP-GEM-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF-ENR-OFL	10	2.8
AMP-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF-ENR-OFL	9	2.5
AMP-SPT-TET-FFC-SF-SXT-ENR-OFL	9	2.5
AMP-A/C-SPT-TET-FFC-SF-SXT	8	2.2
AMP-SPT-TET-FFC-SXT	8	2.2
SPT-TET-SF-SXT	7	1.9
AMP-SPT-TET-FFC-SF-SXT-ENR	6	1.7
AMP-TET-FFC-SF-SXT	6	1.7
AMP-A/C-GEM-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF-CAZ	5	1.4
AMP-SPT-TET-FFC	5	1.4
AMP-A/C-GEM-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF	4	1.1
AMP-GEM-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF-CAZ	4	1.1
AMP-GEM-TET-FFC-SF-SXT	4	1.1
GEM	4	1.1
TET-FFC-SF-SXT	4	1.1
TET-SF	4	1.1
AMP	3	0.8
AMP-A/C-GEM-SPT-TET-FFC-SF-SXT-ENR-OFL	3	0.8
AMP-A/C-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF-CAZ-ENR-OFL	3	0.8
AMP-A/C-SPT-TET-SXT-CEF-ENR-OFL-CL	3	0.8
AMP-SPT-FFC-SF	3	0.8
SF	3	0.8
SPT-TET	3	0.8
TET-SF-SXT	3	0.8
AMP-A/C-GEM-SPT-TET-FFC-SF-SXT	2	0.6
AMP-A/C-SPT-TET-FFC-ENR-OFL	2	0.6
AMP-A/C-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF	2	0.6
AMP-A/C-SPT-TET-FFC-SF-SXT-ENR-OFL	2	0.6
AMP-A/C-SPT-TET-FFC-SXT-ENR-OFL	2	0.6
AMP-A/C-TET-FFC-SF	2	0.6
AMP-GEM-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF-CAZ-ENR-OFL	2	0.6
AMP-GEM-SPT-TET-FFC-SF-SXT-ENR-OFL	2	0.6
AMP-SPT-SF-SXT-ENR-OFL	2	0.6
AMP-SPT-TET-FFC-SF	2	0.6

表 3(续)

耐药谱	个数	百分比/%
AMP-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CAZ	2	0.6
AMP-TET-SF-SXT	2	0.6
TET-SXT	2	0.6
A/C	1	0.3
AMP-A/C-GEM-SPT-FFC-SF-SXT	1	0.3
AMP-A/C-GEM-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF-CAZ-ENR	1	0.3
AMP-A/C-GEM-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CL	1	0.3
AMP-A/C-SPT-FFC-SF-SXT-ENR-OFL	1	0.3
AMP-A/C-SPT-SXT	1	0.3
AMP-A/C-SPT-TET-FFC-SF	1	0.3
AMP-A/C-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF-CAZ-ENR-OFL-MEM	1	0.3
AMP-A/C-SPT-TET-FFC-SF-SXT-ENR	1	0.3
AMP-A/C-TET-SF	1	0.3
AMP-FFC	1	0.3
AMP-GEM-SPT-TET-FFC-SF-CEF	1	0.3
AMP-GEM-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF--ENR	1	0.3
AMP-GEM-TET-FFC-SF-SXT-CEF-ENR-OFL	1	0.3
AMP-SF	1	0.3
AMP-SF-SXT	1	0.3
AMP-SPT-FFC-SXT	1	0.3
AMP-SPT-SF-SXT	1	0.3
AMP-SPT-SF-SXT-CEF-ENR-OFL	1	0.3
AMP-SPT-TET-FFC-CEF	1	0.3
AMP-SPT-TET-FFC-CEF-ENR-OFL	1	0.3
AMP-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF-CAZ	1	0.3
AMP-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF-CAZ-ENR	1	0.3
AMP-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF-CAZ-ENR-OFL	1	0.3
AMP-SPT-TET-FFC-SF-SXT-CEF	1	0.3
AMP-TET-FFC-SF-SXT-CEF	1	0.3
AMP-TET-FFC-SF-SXT-ENR-OFL	1	0.3
AMP-TET-FFC-SXT	1	0.3
AMP-TET-SF	1	0.3
AMP-TET-SF-CEF	1	0.3
FFC	1	0.3
FFC-SF	1	0.3
SPT	1	0.3
SPT-SXT	1	0.3
SPT-TET-SF-SXT-OFL-CL	1	0.3
TET-SF-CAZ	1	0.3

注: -代表对所有检测的抗生素敏感, 下同。

表4 衢州市2023年大肠杆菌的耐药谱
Table 4 Antimicrobial resistance profiles of *Escherichia coli* in Quzhou City in 2023

耐药谱	个数	百分比/%
AMP-SPT-TET-FFC-SF	18	15.0
AMP-TET-FFC-SF-OFL	16	13.3
AMP-SPT-TET-FFC-SF-OFL	11	9.2
SF-OFL	6	5.0
AMP-TET-SF-OFL	5	4.2
TET	4	3.3
TET-SF-OFL	4	3.3
AMP-SPT-TET-FFC-SF-ENR-OFL	3	2.5
SF	3	2.5
TET-FFC-SF	3	2.5
-	2	1.7
AMP-GEM-SPT-TET-FFC-SF-CEF-CAZ-ENR-OFL	2	1.7
AMP-SF-OFL	2	1.7
AMP-SPT-TET-FFC-SF-CEF-CAZ-ENR-OFL	2	1.7
AMP-SPT-TET-SF-OFL	2	1.7
AMP-TET-FFC-SF	2	1.7
TET-FFC-OFL	2	1.7
TET-FFC-SF-OFL	2	1.7
TET-SF	2	1.7
AMP-GEM-SPT-TET-FFC-SF	1	0.8
AMP-GEM-SPT-TET-FFC-SF-CEF-OFL	1	0.8
AMP-GEM-SPT-TET-SF-CEF-ENR-OFL	1	0.8
AMP-GEM-TET-SF-CEF-CAZ-ENR-OFL	1	0.8
AMP-OFL	1	0.8
AMP-SF-ENR-OFL	1	0.8
AMP-SPT-SF-OFL	1	0.8
AMP-SPT-TET-FFC	1	0.8
AMP-SPT-TET-FFC-SF-CAZ-ENR-OFL	1	0.8
AMP-SPT-TET-FFC-SF-CEF-CAZ-OFL	1	0.8
AMP-SPT-TET-FFC-SF-CEF-OFL	1	0.8
AMP-SPT-TET-FFC-SF-ENR	1	0.8
AMP-SPT-TET-SF-CEF-ENR-OFL	1	0.8
AMP-TET-FFC	1	0.8
AMP-TET-FFC-SF-CAZ-OFL	1	0.8
AMP-TET-FFC-SF-CEF-CAZ	1	0.8
AMP-TET-FFC-SF-CEF-CAZ-OFL	1	0.8
AMP-TET-OFL	1	0.8
AMP-TET-SF	1	0.8
AMP-TET-SF-CAZ-OFL	1	0.8
GEM-SPT-TET-CEF-CAZ-OFL	1	0.8
GEM-TET-CEF-CAZ-OFL	1	0.8
SPT-SF	1	0.8
SPT-SF-ENR-OFL	1	0.8
SPT-SF-OFL	1	0.8
SPT-TET-FFC	1	0.8
SPT-TET-SF-OFL	1	0.8
TET-FFC	1	0.8
TET-SF-ENR-OFL	1	0.8

菌抗3类以上抗生素,而2023年只有70.0%的大肠杆菌抗3类以上抗生素。根据耐药谱发现,氟喹诺酮类抗生素ENR和OFL的耐药相关性较高,表现出同类药物的交叉耐药性。

2022年衢州市分离的肠球菌共有43种耐药谱型,其中ERY-SF-TIA-TIL的耐药谱占比最高,为22.5%,其次为ERY-SF-TIA-TIL-LZD(14.2%)和ERY-ENR-SF-TIA-TIL-LZD(8.6%)。2022年有1株肠球菌对9种药物同时耐药,耐药谱型为PEN-A/C-ERY-ENR-SF-DOX-TIA-TIL-LZD(表5)。相较2022年,2023年衢州市的肠球菌增至52种耐药谱型,且有4株肠球菌对16种药物同时耐药,耐药谱为PEN-ERY-CLI-ENR-OFL-CEF-CFX-SF-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-GEN-LZD(表6)。相比大肠杆菌,肠球菌的多重耐药率上升,2022—2023年由89.7%上升至94.2%。

表5 衢州市2022年肠球菌的耐药谱
Table 5 Antimicrobial resistance profiles of *Enterococcus* in Quzhou City in 2022

耐药谱	个数	百分比/%
ERY-SF-TIA-TIL	81	22.5
ERY-SF-TIA-TIL-LZD	51	14.2
ERY-ENR-SF-TIA-TIL-LZD	31	8.6
SF-TIA	27	7.5
ERY-SF-DOX-TIA-TIL	25	6.9
ERY-SF-DOX-TIA-TIL-LZD	22	6.1
ERY-ENR-SF-TIA-TIL	20	5.6
ERY-ENR-SF-DOX-TIA-TIL-LZD	17	4.7
SF-TIA-TIL	11	3.1
ERY-ENR-SF-DOX-TIA-TIL	9	2.5
PEN-ERY-SF-DOX-TIA-TIL	9	2.5
ERY-TIA-TIL	5	1.4
PEN-ERY-SF-TIA-TIL	4	1.1
-	3	0.8
ERY-SF-TIL	3	0.8
PEN-ERY-ENR-SF-TIA-TIL	3	0.8
PEN-ERY-SF-TIA-TIL-LZD	3	0.8
SF	3	0.8
A/C-ERY-ENR-SF-TIA-TIL	2	0.6
ERY-DOX-TIA-TIL-LZD	2	0.6
ERY-SF-TIA	2	0.6
ERY-TIA-TIL-LZD	2	0.6
ERY-TIL	2	0.6
PEN-ERY-SF-DOX-TIA-TIL-LZD	2	0.6
SF-TIA-TIL-LZD	2	0.6
ENR-SF-TIA	1	0.3
ENR-SF-TIA-TIL	1	0.3
ENR-SF-DOX-TIA-LZD	1	0.3

表 5(续)

耐药谱	个数	百分比/%
ERY-ENR-SF-FFC-TIA-TIL	1	0.3
ERY-ENR-TIA-TIL	1	0.3
ERY-SF-DOX-TIA	1	0.3
ERY-SF-DOX-TIL	1	0.3
ERY-SF-FFC-TIA-TIL-LZD	1	0.3
PEN-A/C-ERY-ENR-SF-DOX-TIA-TIL-LZD	1	0.3
PEN-A/C-ERY-SF-TIA-TIL-LZD	1	0.3
PEN-ENR-SF-TIA	1	0.3
PEN-ERY-ENR-SF	1	0.3
PEN-ERY-SF-TIL	1	0.3
PEN-ERY-TIA-TIL	1	0.3
PEN-ERY-TIA-TIL-LZD	1	0.3
PEN-LZD	1	0.3
PEN-SF-DOX-TIA-TIL	1	0.3
SF-DOX-TIA	1	0.3
TIA-TIL	1	0.3

表 6(续)

耐药谱	个数	百分比/%
PEN-ERY-CLI-CFX-SF-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL	3	2.5
A/C-ERY-CLI-SF-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-LZD	2	1.7
ERY-CLI-CEF-CFX-SF-OXA-SXT-TET-TIA-TIL-GEN-LZD	2	1.7
ERY-CLI-CEF-CFX-SF-OXA-TET-FFC-TIA-TIL-GEN	2	1.7
ERY-CLI-CEF-CFX-SF-OXA-TET-FFC-TIL-GEN-LZD	2	1.7
ERY-CLI-CEF-CFX-SF-OXA-TET-TIA-TIL-GEN	2	1.7
ERY-CLI-CEF-CFX-SF-OXA-TET-TIA-TIL-LZD	2	1.7
ERY-CLI-CEF-CFX-TET-YIL	2	1.7
ERY-CLI-ENR-OFL-CEF-CFX-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL	2	1.7
ERY-CLI-ENR-OFL-CEF-CFX-OXA-SXT-TET-TIA-TIL-GEN	2	1.7
ERY-CLI-ENR-OFL-CEF-CFX-SF-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-GEN-LZD	2	1.7
ERY-CLI-OFL-CEF-CFX-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-GEN-LZD	2	1.7
ERY-CLI-OFL-CEF-CFX-SF-OXA-TET-FFC-TIL-GEN-LZD	2	1.7
ERY-CLI-SF-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-LZD	2	1.7
PEN-ERY-CLI-ENR-OFL-CEF-CFX-SF-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-GEN	2	1.7
PEN-ERY-CLI-OFL-CEF-CFX-SF-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-GEN-LZD	2	1.7
PEN-ERY-CLI-OFL-CEF-CFX-SF-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-LZD	2	1.7
CFX-OXA-SXT	1	0.8
CFX-SXT-GEN	1	0.8
CLI-CEF-CFX-OXA-SXT-TET-TIA-LZD	1	0.8
CLI-CEF-CFX-SF-OXA-TIA-GEN	1	0.8
ERY-CLI-CEF-CFX-SF-OXA-TET-FFC-TIA-TIL-GEN-LZD	1	0.8
ERY-CLI-OFL-CEF-CFX-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL	1	0.8
ERY-CLI-OFL-CEF-CFX-OXA-TET-FFC-TIA-TIL-GEN-LZD	1	0.8
ERY-CLI-OFL-CEF-CFX-SF-OXA-FFC-TIA-TIL-LZD-SXT	1	0.8
ERY-CLI-OFL-CEF-CFX-SF-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-LZD	1	0.8
ERY-CLI-OFL-CEF-CFX-SF-OXA-SXT-TET-TIA-TIL-GEN-LZD	1	0.8

表 6 衢州市 2023 年肠球菌的耐药谱
Table 6 Antimicrobial resistance profiles of *Enterococcus* in Quzhou City in 2023

耐药谱	个数	百分比/%
CLI-ENR-OFL-CEF-CFX-OXA-TIA-TIL	8	6.7
-	7	5.8
ERY-CLI-OFL-CEF-CFX-SF-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-GEN-LZD	5	4.2
A/C-ERY-CEF-CFX-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-GEN-LZD	4	3.3
ERY-CLI-CEF-CFX-OXA-SXT-TET-TIA-TIL-LZD	4	3.3
ERY-CLI-CEF-CFX-SF-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-GEN-LZD	4	3.3
ERY-CLI-CEF-CFX-SF-OXA-TET-FFC-TIA-TIL	4	3.3
ERY-CLI-CEF-CFX-SF-OXA-TET-FFC-TIA-TIL-LZD	4	3.3
ERY-CLI-OFL-CEF-CFX-SF-OXA-TET-FFC-TIA-TIL-GEN-LZD	4	3.3
PEN-ERY-CLI-CEF-CFX-SF-OXA-SXT-FFC-TIA-TIL-GEN-LZD	4	3.3
PEN-ERY-CLI-ENR-OFL-CEF-CFX-SF-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-GEN-LZD	4	3.3
CLI-CEF-CFX-OXA-SXT-TIA-TIL	3	2.5
ERY-CLI-CEF-CFX-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-GEN	3	2.5
ERY-CLI-ENR-OFL-CEF-CFX-SF-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-GEN	3	2.5
PEN-A/C-ERY-CLI-CEF-CFX-SF-OXA-SXT-TET-FFC-TIA-TIL-GEN-LZD	3	2.5

表 6(续)

耐药谱	个数	百分比/%
ERY-CLI-SF-OXA-TET-FFC-TIA-TIL-LZD	1	0.8
ERY-OFL-CEF-CFX-OXA-SXT-TET-TIA-TIL-GEN-LZD	1	0.8
OFL-CEF-CFX-OXA-SXT-TIL	1	0.8
OFL-SXT-GEN	1	0.8
OFL-SXT-TIA-GEN	1	0.8
PEN-CLI-CEF-CFX-OXA-SXT-TIA	1	0.8
PEN-CLI-OFL-CEF-CFX-OXA-SXT-TIA-TIL-GEN	1	0.8
PEN-ERY-CLI-CEF-CFX-OXA-TET-FFC-TIA-TIL-GEN	1	0.8
PEN-ERY-CLI-ENR-OFL-CEF-CFX-OXA-SXT-TET-TIA-TIL-GEN	1	0.8
PEN-ERY-CLI-SF-OXA-FFC-TIA-TIL-LZD	1	0.8
PEN-ERY-CLI-SF-OXA-SXT-TET-TIA-TIL-LZD	1	0.8

3 讨论与结论

随着社会经济的发展和人民生活水平的提高,由细菌引起的食源性疾病逐渐成为人们关注的食品安全问题之一,在整个畜禽肉产品生产链中,大肠杆菌和肠球菌可以在动物的屠宰及加工过程中从肠道传播至动物胴体及其他肉类产品中,对食品安全及公共卫生构成威胁^[16-19]。本研究通过连续两年从衢州市的畜禽肛拭子样本中分离鉴定大肠杆菌 685 株、肠球菌 683 株,监测到了严峻的多重耐药性的存在。其中特别值得注意的是,大肠杆菌对 TET、SF 和 AMP 的耐药率较高,且多重耐药谱型 AMP-SPT-TET-FFC-SF-SXT 的占比高达 20.3%。青霉素类、四环素类和磺胺类抗生素是中国畜禽养殖业中使用量最多的抗菌药物,这在一定程度上反映了抗生素使用对动物源细菌耐药性的重要影响^[20-23]。前期的报道显示,浙江省猪源大肠杆菌的耐药性高于禽源,可能与不同食品动物的养殖和用药方式有关^[24]。本研究中由于不同年份动物样品代表性不够,未能比较两种来源的细菌耐药性差异。下一步需要针对不同动物进行持续监测。

由于在临床上广谱的抗菌特性和对多重耐药菌株的抑菌效果, MEM 被禁止在畜禽养殖中使用^[25-26]。CL 属于多黏菌素类药物,是治疗碳青霉烯类肠杆菌科细菌性疾病的有效抗生素^[2,27-28],过去常被当作革兰氏阴性菌的有效预防及促生长药物广泛添加在饲料中。由于动物源细菌对 CL 的耐药率持续上升^[29],农业农村部于 2017 年禁止将多 CL 类药物用于促生长使用,随后 CL 耐药率大幅下降^[30]。

本研究在 2022 年分离出 1 株 MEM 耐药和 5 株 CL 耐药菌株,说明食品动物源细菌仍携带风险耐药表型。然而,2023 年的数据表明,120 株大肠杆菌样本中未分离到 MEM 和 CL 耐药菌株,表明细菌对这些抗生素的耐药性进一步下降。本研究从耐药率、MIC 分布和耐药谱型方面对浙江省衢州市两年间的食品动物源细菌耐药水平进行比较,发现衢州市大肠杆菌的耐药性水平降低明显,肠球菌同样对多数抗生素耐药性下降,但对部分药物(PEN、TET、LZD)耐药性上升,这可能与兽用抗生素的持续投入使用相关^[7,31-32]。以上结果表明,浙江省实施的“兽药减量化行动”等政策,在降低细菌耐药性方面发挥了积极作用。

总之,2023 年衢州地区食品动物源大肠杆菌和肠球菌的整体耐药水平相较 2022 年下降明显,但仍存在多重耐药现象,且耐药谱较广,威胁食品安全和人类健康。未来需关注不同食品动物养殖环节病原菌的耐药情况,做好长期监测工作,规范抗生素在养殖中的使用,预防在后续屠宰、加工、运输等环节出现交叉污染现象,从而降低可能引发的细菌耐药性的传播风险。

参考文献

- [1] UDDIN TM, CHAKRABORTY AJ, KHUSRO A, *et al.* Antibiotic resistance in microbes: History, mechanisms, therapeutic strategies and future prospects [J]. *Journal of Infection and Public Health*, 2021, 14(12): 1750-1766.
- [2] JEAN SS, HARNOD D, HSUEH PR. Global threat of carbapenem-resistant gram-negative bacteria [J]. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 2022, 12: 823684.
- [3] LI X, LIANG B, XU D, *et al.* Antimicrobial resistance risk assessment models and database system for animal-derived pathogens [J]. *Antibiotics (Basel)*, 2020, 9(11): 829.
- [4] RABELLO RF, BONELLI RR, PENNA BA, *et al.* Antimicrobial resistance in farm animals in Brazil: An update overview [J]. *Animals (Basel)*, 2020, 10(4): 552.
- [5] WOOLHOUSE M, WARD M, VAN BUNNIK B, *et al.* Antimicrobial resistance in humans, livestock and the wider environment [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-biological Sciences*, 2015, 370(1670): 20140083.
- [6] PIÑEIRO SA, CERNIGLIA CE. Antimicrobial drug residues in animal-derived foods: Potential impact on the human intestinal microbiome [J]. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 2021, 44(2): 215-222.
- [7] HOLMAN DB, KLIMA CL, GZYL KE, *et al.* Antimicrobial resistance in *Enterococcus* spp. isolated from a beef processing plant and retail ground beef [J]. *Microbiology Spectrum*, 2021, 9(3): e0198021.
- [8] HUEMER M, MAIRPADY SS, BRUGGER SD, *et al.* Antibiotic resistance and persistence-implications for human health and treatment perspectives [J]. *EMBO Reports*, 2020, 21(12): e51034.
- [9] HUANG E, YANG X, LEIGHTON E, *et al.* Carbapenem resistance in the food supply chain [J]. *Journal of Food Protection*, 2023, 86(7): 100108.

- [10] VON BAUMH, MARRE R. Antimicrobial resistance of *Escherichia coli* and therapeutic implications [J]. International Journal of Medical Microbiology, 2005, 295(6-7): 503–511.
- [11] TORRES C, ALONSO CA, RUIZ-RIPA L, *et al.* Antimicrobial resistance in *Enterococcus* spp. of animal origin [J]. Microbiology Spectrum, 2018, 6(4): 10.1128.
- [12] HAN T, ZHANG Q, LIU N, *et al.* Changes in antibiotic resistance of *Escherichia coli* during the broiler feeding cycle [J]. Poultry Science, 2020, 99(12): 6983–6989.
- [13] HUMPHRIES R, BOBENCHIK AM, HINDLER JA, *et al.* Overview of changes to the clinical and laboratory standards institute performance standards for antimicrobial susceptibility testing, M100, 31st edition [J]. Journal of Clinical Microbiology, 2021, 59(12): e0021321.
- [14] 唐标, 郝运, 林家辉, 等. 浙江省 2 市动物源大肠埃希菌及肠球菌耐药性比较和分析[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2021, 47(5): 647–659.
- TANG B, HAO Y, LIN JH, *et al.* Comparison and analysis of antibiotic resistance of animal-derived *Escherichia coli* and *Enterococcus* in two cities of Zhejiang Province [J]. Journal of the Zhejiang University (Agriculture and Life Science), 2021, 47(5): 647–659.
- [15] 卢亚兰, 代正云, 陈凌云, 等. 两株 *bla*_{NDM-5} 基因介导的碳青霉烯耐药禽源大肠杆菌 ST10 和 ST354 耐药性[J]. 微生物学通报, 2020, 47(6): 1837–1846.
- LU YL, DAI ZY, CHEN LY, *et al.* Antibiotic resistance of two poultry-derived *Escherichia coli* ST10 and ST354 Mediated by *bla*_{NDM-5} gene for carbapenem resistance [J]. Microbiology China, 2020, 47(6): 1837–1846.
- [16] GAO W, HOWDEN BP, STINEAR TP. Evolution of virulence in *Enterococcus faecium*, a hospital-adapted opportunistic pathogen [J]. Current Opinion in Microbiology, 2018, 41: 76–82.
- [17] CROXEN MA, FINLAY BB. Molecular mechanisms of *Escherichia coli* pathogenicity [J]. Nature Reviews Microbiology, 2010, 8(1): 26–38.
- [18] YANG Y, GROSSART HP. Antibiotic resistance genes: A global change factor [J]. Global Change Biology, 2024, 30(8): e17448.
- [19] MUAZ K, RIAZ M, AKHTAR S, *et al.* Antibiotic residues in chicken meat: Global prevalence, threats, and decontamination strategies: A review [J]. Journal of Food Protection, 2018, 81(4): 619–627.
- [20] JIAN Z, ZENG L, XU T, *et al.* Antibiotic resistance genes in bacteria: Occurrence, spread, and control [J]. Journal of Basic Microbiology, 2021, 61(12): 1049–1070.
- [21] MATAMOROS V, CASAS ME, PASTOR E, *et al.* Effects of tetracycline, sulfonamide, fluoroquinolone, and lincosamide load in pig slurry on lettuce: Agricultural and human health implications [J]. Environmental Research, 2022, 215(Pt 1): 114237.
- [22] ODUNDO F, NGIGI A, MAGU M. Sulfonamides and β -lactam antibiotic residues and human health risk assessment in commercial chicken meat sold in Nairobi City, Kenya [J]. Heliyon, 2023, 9(8): e18810.
- [23] OSORIO V, SABATER IMA, BALCÁZAR JL. Comparative metagenomics reveals poultry and swine farming are hotspots for multidrug and tetracycline resistance [J]. Environmental Pollution, 2023, 322: 121239.
- [24] MA J, ZHOW W, WU J, *et al.* Large-scale studies on antimicrobial resistance and molecular characterization of *Escherichia coli* from food animals in developed areas of eastern China [J]. Microbiology Spectrum, 2022, 10: e02015-e02022.
- [25] WANG J, TANG B, LIN R, *et al.* Emergence of *mcr-1*- and *bla*_{NDM-5}-harbouring IncHI2 plasmids in *Escherichia coli* strains isolated from meat in Zhejiang, China [J]. Journal of Global Antimicrobial Resistance, 2022, 30: 103–6.
- [26] PASCALE R, GIANNELLA M, BARTOLETTI M, *et al.* Use of meropenem in treating carbapenem-resistant *Enterobacteriaceae* infections [J]. Expert Review of Anti-Infective Therapy, 2019, 17(10): 819–827.
- [27] TANG B, CHANG J, LUO Y, *et al.* Prevalence and characteristics of the *mcr-1* gene in retail meat samples in Zhejiang Province, China [J]. Journal of Microbiology, 2022, 60(6): 610–619.
- [28] BINSKER U, KÄSBOHRER A, HAMMERL JA. Global colistin use: A review of the emergence of resistant *Enterobacterales* and the impact on their genetic basis [J]. FEMS Microbiology Reviews, 2022, 46(1): fuab049.
- [29] LIU YY, WANG Y, WALSH TR, *et al.* Emergence of plasmid-mediated colistin resistance mechanism *mcr-1* in animals and human beings in China: A microbiological and molecular biological study [J]. The Lancet Infectious Diseases, 2016, 16(2): 161–168.
- [30] WANG Y, XU C, ZHANG R, *et al.* Changes in colistin resistance and *mcr-1* abundance in *Escherichia coli* of animal and human origins following the ban of colistin-positive additives in China: An epidemiological comparative study [J]. The Lancet Infectious Diseases, 2020, 20(10): 1161–1171.
- [31] DARNELL RL, PAXIE O, TODD-ROSE FO, *et al.* Antimicrobial tolerance and its role in the development of resistance: Lessons from enterococci [J]. Advances in Microbial Physiology, 2022, 81: 25–65.
- [32] 孙淑玥, 王珊珊, 崔生辉, 等. 食品来源粪肠球菌的全基因组分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(19): 7572–7577.
- SUN SY, WANG SS, CUI SH, *et al.* The whole genome analysis of *Enterococcus faecium* from food sources [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(19): 7572–7577.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)