DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260113005
引用格式: 吴春霞, 罗佳, 张秋萍, 等. 2025 年苏州地区市售淡水鱼虾中喹诺酮类抗生素残留风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(14): 76–83.
Wu Chunxia, Luo Jia, Zhang Qiuping, et al. Risk assessment of quinolone antibiotic residues in freshwater fish and shrimp sold in Suzhou Area in 2025 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(14): 76–83. (in Chinese with English abstract).

2025 年苏州地区市售淡水鱼虾中喹诺酮类抗生素残留风险评估

吴春霞[1,2], 罗　佳[1,2], 张秋萍[1,2], 姚雪漫[1,2], 施　静[1,2*]

[1. 苏州市疾病预防控制中心, 苏州　215131;
2. 江苏省食品安全风险监测重点实验室(非法添加领域), 苏州　215131]

摘　要: 目的　了解苏州地区市售淡水鱼虾中 6 种喹诺酮类抗生素的残留情况, 并进行膳食暴露风险评估。**方法**　随机采集 2025 年苏州市售鲜活淡水鱼虾样品 97 份, 采用固相萃取-超高效液相色谱串联质谱法检测 6 种喹诺酮类抗生素残留水平, 通过食品安全指数评估淡水鱼虾中喹诺酮类抗生素的暴露风险。**结果**　97 件淡水鱼虾样品中喹诺酮类抗生素的总检出率为 54.6% (53/97), 超标率为 2.06% (2/97)。其中恩诺沙星的检出率最高, 为 54.6% (53/97); 其次是环丙沙星, 检出率为 14.4% (14/97)。恩诺沙星的含量范围为 0.5~175.8 μg/kg, 环丙沙星的含量范围为 0.4~48.0 μg/kg。97 份样品中均未检出氧氟沙星、培氟沙星、诺氟沙星和洛美沙星。喹诺酮类抗生素的食品安全指数范围处于 0.0023~0.0038 之间, 远小于 1。**结论**　本次研究中苏州市售淡水鱼虾中喹诺酮类抗生素检出以恩诺沙星和环丙沙星为主, 6 种喹诺酮类抗生素对人体的健康风险处于安全水平, 暴露风险较低, 但儿童和老年人的暴露风险高于成年人, 应加强监管。同时为水产品质量评估及食品安全标准修订提供数据参考。

关键词: 食品安全指数; 喹诺酮类抗生素; 风险评估
中图分类号: R155.5+5　　**文献识别码:** A　　**文章编号:** 2095–0381(2026)14–0076–08

Risk assessment of quinolone antibiotic residues in freshwater fish and shrimp sold in Suzhou Area in 2025

WU Chun-Xia[1,2], LUO Jia[1,2], ZHANG Qiu-Ping[1,2], YAO Xue-Man[1,2], SHI Jing[1,2*]

[1. *Suzhou Centers for Disease Control and Prevention*, *Suzhou* 215131, *China*; 2. *Jiangsu Key Laboratory of Food Safety Risk Monitoring* (*Illegal Addition Field*), *Suzhou* 215131, *China*]

ABSTRACT: Objective　To investigate the residues of 6 kinds of quinolone antibiotics in freshwater fish and shrimp sold in Suzhou Area and assess the dietary exposure risk. **Methods**　A total of 97 freshwater fish and shrimp

收稿日期: 2026-01-13
基金项目: 苏州市应用基础研究(医疗卫生)科技创新项目(SYW2025156)
第一作者: 吴春霞(1982—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品理化检验。E-mail: wuchunxia_ren@163.com
***通信作者:** 施静(1992—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为卫生检验。E-mail: 18862151166@163.com

samples were randomly collected from the Suzhou market in 2025. The residue levels of 6 kinds of quinolone antibiotics were determined by solid-phase extraction coupled with ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. The exposure risk of quinolone antibiotics in freshwater fish and shrimp was evaluated by the index of food safety. **Results** The overall detection rate of quinolone antibiotics in the 97 samples was 54.6% (53/97), and the exceedance rate was 2.06% (2/97). Enrofloxacin had the highest detection rate at 54.6% (53/97), followed by ciprofloxacin with the exceedance rate of 14.4% (14/97). The content range of enrofloxacin was 0.5-175.8 μg/kg, and that of ciprofloxacin was 0.4–48.0 μg/kg. Ofloxacin, pefloxacin, norfloxacin and lomefloxacin were not detected in any of the samples. The index of food safety for quinolone antibiotics ranged from 0.0023 to 0.0038, which was far below 1. **Conclusion** In this study, the quinolone antibiotics detected in freshwater fish and shrimp sold in Suzhou Area were mainly enrofloxacin and ciprofloxacin. The health risk posed by the 6 kinds of quinolone antibiotics to humans is at a safe level. However, the exposure risk for children and the elderly is higher than that for adults, indicating that enhanced supervision is needed. This study also provides a data reference for aquatic product quality assessment and the revision of food safety standards.

KEY WORDS: index of food safety; quinolones; risk assessment

0　引　言

鱼虾中富含优质蛋白、不饱和脂肪酸、维生素、矿物质等营养成分, 能够给身体提供所需要的能量, 帮助增强体质, 且鱼虾中脂肪含量极低, 多为不饱和脂肪酸[1–2], 有助于预防动脉硬化。2023 至 2025 年, 中国淡水鱼年均产量稳定在 3000 万吨左右, 消费量同步增长, 年增长率约为 2.8%, 预计 2026 年淡水鱼总产量将突破 3300 万吨, 年均增长率维持在 2.1%至 2.5%区间, 可见淡水鱼虾类在全国消费市场中所占比例稳步提高。但是在养殖和运输过程中也出现一些问题, 比较典型的就是兽药滥用问题[3–7], 其中喹诺酮类抗菌药是主要的药物残留[8–9]。该类抗菌药物具有抗菌作用强, 价格低廉, 使用方便等, 是养殖户的首选药物。滥用和未遵守休药期, 近年来喹诺酮类抗生素在水产品、鸡肉、禽蛋中常常被检出超标, 长期摄入含有喹诺酮类抗生素残留的动物性食品, 可能导致人体健康受损, 包括诱导人类病原微生物产生耐药性和抗药性, 严重时可能对食用者产生直接毒性及潜在三致(致癌、致畸、致突变)作用。朱颖等[10]研究发现, 山东省市售淡水鱼虾中喹诺酮类抗生素检出率为 36.0%, 超标率为 3.54%, 且鱼类的检出率高于虾类。长江中下游地区是我国淡水鱼虾的主要生产基地, 苏州地区淡水鱼虾资源丰富, 居民日均消费量高, 因此研究苏州市淡水鱼虾中抗生素的污染情况具有重要意义。

目前喹诺酮类抗生素主要检测方法有微生物法[11–13]、酶联免疫吸附法[14–16]、液相色谱法[17–18]、液相色谱-串联质谱法[19–27]、毛细管电泳法[28–31]。酶联免疫吸附法特异性强, 但是方法比较烦琐。液相色谱-串联质谱法灵敏度高、选择性强, 可对多种抗生素同时检测。鉴于此, 本研究以居民日常食用的淡水鱼虾类为研究对象, 采用固相萃取-液相色谱-串联质谱法测定喹诺酮类抗生素(氧氟沙星、培氟沙星、诺氟沙星、恩诺沙星、环丙沙星、洛美沙星), 以食品安全指数法评估各风险因子的膳食暴露风险, 为淡水鱼虾养殖合理用药, 保障食品质量安全提供数据支持。

1　材料和方法

1.1　材料与试剂

本研究淡水鱼虾购自苏州市农贸市场和超市, 采样方法参考 GB/T 30891—2014 《水产品抽样规范》, 选用居民日常食用频次较高的 9 种淡水鱼(鲢鱼、鲈鱼、草鱼、黑鱼、鲫鱼、白鱼、鳊鱼、昂刺鱼、青鱼)和 3 种虾(草虾、基围虾、罗氏虾)。样品取可食用部分粉碎匀浆后于–20 ℃冷冻保存, 10 d 内完成检测。

柠檬酸、十二水合磷酸氢二钠、氢氧化钠、乙二胺四乙酸二钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 甲醇、乙腈、甲酸(色谱纯, 美国 Supelco 公司); 甲醇中 6 种喹诺酮混标(ISTG47026-100M, LOT No.S216029, 其中氧氟沙星、诺氟沙星、环丙沙星、恩诺沙星、培氟沙星、洛美沙星质量浓度为 100 μg/mL)、甲醇中恩诺沙星-D_5 溶液(IST4107D5-100M, 批号: S203123)、甲醇中诺氟沙星-D_5 盐酸盐溶液(IST5738AD5-100M, 批号: S196967)(天津阿尔塔科技有限公司)。

1.2　仪器与设备

AB 5500+液质联用仪[配有电喷雾离子源(electrospray ionization, ESI), 美国 AB SCIEX 公司]; HM100 刀式研磨仪(格瑞德曼仪器设备有限公司); PYT-B520 电子天平(精度 0.01 g, 华志电子科技有限公司); HP-M30 多管涡旋振荡器(华派科仪仪器有限公司); Vortex-2 漩涡混合器(上海叶拓科技有限公司); HLB 固相

萃取柱(200 mg, 6 cc, 美国 Waters 公司); Multifuge X Pro Series 离心机(最高转速≥10000 r/min, 美国赛默飞世尔科技公司); FE28-CN 酸度计(瑞士梅特勒托利多公司); AUTO EVA80 全自动平行浓缩仪(睿科仪器有限公司); Visiprep^{TM}24 固相萃取仪(美国 Supelco 公司)。

1.3 溶液配制

甲醇-乙腈溶液: 准确量取 40 mL 甲醇于 100 mL 量筒中, 加乙腈至刻度; 磷酸氢二钠溶液(0.2 mol/L): 称取 71.63 g 十二水合磷酸氢二钠, 用水溶解, 定容至 1000 mL; 柠檬酸溶液(0.1 mol/L): 称取 21.01 g 一水合柠檬酸, 用水溶解, 定容至 1000 mL。

Mcllvaine 缓冲溶液: 将 1000 mL 0.1 mol/L 柠檬酸溶液与 625 mL 0.2 mol/L 磷酸氢二钠溶液混合, 用盐酸或氢氧化钠调节 pH 至 4.0±0.05; 乙二胺四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)-Mcllvaine 缓冲溶液(0.1 mol/L): 称取 60.5 g EDTA 放入 1625 mL Mcllvaine 缓冲溶液中, 溶解混匀。

5%甲醇水溶液: 准确量取 5 mL 甲醇于 100 mL 容量瓶中, 加水定容至刻度; 0.1%甲酸水溶液: 准确量取 500 μL 甲酸于 500 mL 容量瓶中, 加水定容至刻度。

混合标准溶液: 准确吸取 6 种喹诺酮混合标准溶液, 置于棕色容量瓶中, 用甲醇稀释, 定容, 配成各组分浓度为 5 μg/mL 的混合标准溶液。

内标混合标准溶液(各内标质谱质量浓度均为 5 μg/mL): 准确吸取诺氟沙星-D_5、恩诺沙星-D_5 标准溶液各 0.5 mL 至 10 mL 棕色容量瓶中, 用甲醇稀释至刻度。

内标使用液: 准确吸取(各内标质量浓度均为 5 μg/mL)内标混合标准溶液 1 mL 至 50 mL 棕色容量瓶中, 用甲醇稀释至刻度, 各内标质量浓度均为 100 μg/L。

基质工作曲线的绘制: 吸取 6 种喹诺酮混合标准溶液适量, 用甲醇稀释为质量浓度为 10、20、50、100、200、500、1000 μg/L 的混合标准溶液, 用空白基质溶液稀释成质量浓度为 1、2、5、10、20、50、100 μg/L 的基质工作曲线溶液, 其中各含诺氟沙星-D_5 质量浓度为 10 μg/L、恩诺沙星-D_5 质量浓度为 10 μg/L。

1.4 样品处理

称取均质试样 2 g(精确到 0.01 g), 置于 50 mL 聚丙烯离心管中, 加入内标溶液 100 μL, 加入 10 mL 0.1 mol/L EDTA-Mcllvaine 缓冲溶液, 1000 r/min 旋涡混合 1 min, 超声提取 10 min, 10000 r/min 离心 5 min(温度低于 5 ℃), 提取两次, 合并上清液, 滤纸过滤, 待净化。

净化: HLB 固相萃取柱(200 mg, 6 mL), 使用时先用 6 mL 甲醇、6 mL 水活化。将提取溶液以 2~3 mL/min 的速度过柱, 弃去滤液, 用 2 mL 5%甲醇水溶液淋洗, 弃去淋洗液, 将小柱抽干, 再用 6 mL 甲醇洗脱并收集洗脱液。洗脱液用氮气吹干, 用 1 mL 0.1%甲酸水溶液溶解, 涡旋混合 1 min, 10000 r/min 离心 10 min, 上清液用于上机测定。

1.5 实验条件

1.5.1 液相色谱条件

色谱柱: Waters ACQUITY UPLC ®BEH C_{18} (50 mm×2.1 mm, 1.7 μm), 流动相: A 为 0.1%甲酸溶液, B 为 40%甲醇-乙腈溶液, 采用梯度洗脱, 梯度洗脱条件见表 1, 流速: 0.25 mL/min, 进样量: 5 μL。

表 1 梯度洗脱程序

Table 1 Gradient elution conditions

时间/min	A/%	B/%
0.0	90	10
1.0	90	10
2.5	10	90
3.5	10	90
3.8	0	100
4.5	0	100
5.0	90	10
6.0	90	10

1.5.2 质谱条件

离子源: 电喷雾离子源, 扫描方式: 正离子扫描, 检测方式: 多反应监测, 离子传输线温度: 550 ℃, 喷雾电压: 5.5 kV, 气帘气压力: 35 psi, 雾化气压力: 50 psi, 辅助气压力: 50 psi, 检测方式: 多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式。6 种抗生素的质谱采集参数见表 2。

1.6 市售淡水鱼虾中喹诺酮类抗生素风险评估方法

本研究中 6 种喹诺酮类抗生素的风险评估及食品安全指数计算如公式(1)~(2):

$$IFS_c=\frac{EDI_c\times f}{SI_c\times bw} \quad (1)$$

$$EDI_c=\sum(R_i\times F_i\times E_i\times P_i) \quad (2)$$

式中: IFS_c 为食品安全指数; EDI_c 为每日摄入污染物 c 的估算量(estimated daily intake, EDI_c); SI_c 为污染物 c 的安全摄入量(safe intake, SI_c), 药物残留一般采用每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI)表示; i 为不同的食品种类; R_i 为食品 i 中化学物质 c 的残留水平(μg/kg); F_i 为食品 i 中的估计日消费量(g/人•d); E_i 表示食品 i 的可食用部分因子; P_i 为食品 i 中的加工处理因子。

IFS_c 评价标准: 当 $IFS_c\ll1$ 认为食品安全无风险, 以 $IFS_c\leqslant0.01$ 计; $IFS_c\leqslant1$ 认为污染物带来的食品安全风险可接受, 对人们的健康不会造成危害效应, $IFS_c>1$ 表示所检测的污染物对人们的健康造成的危害效应是明显的, 出现这种状况就应该进入风险管理程序。

表 2　6 种抗生素的质谱信息

Table 2　Mass spectrometry information of 6 kinds of antibiotics

名称	定性离子对(*m*/*z*)	定量离子对(*m*/*z*)	去簇电压/eV	碰撞能量/eV
氧氟沙星	362.2/318.3	362.2/318.3	93	25
	362.2/261.2		93	35
诺氟沙星	320.3/302.3	320.3/302.3	90	25
	320.3/276.3		82	22
培氟沙星	334.3/290.3	334.3/290.3	92	25
	334.3/233.2		90	33
环丙沙星	332.2/314.3	332.2/314.3	95	27
	332.2/288.3		86	25
恩诺沙星	360.3/316.4	360.3/316.4	95	25
	360.3/342.3		95	27
洛美沙星	352.3/265.2	352.3/265.2	91	32
	352.3/308.3		91	23
诺氟沙星-D_5	325.1/307.2	325.1/307.2	90	25
恩诺沙星-D_5	365.3/321.2	365.3/321.4	95	25

1.7　评价标准

本研究按照 GB 31650—2019《食品安全国家标准 食品中兽药最大残留限量》中规定的鱼虾中恩诺沙星(以恩诺沙星和环丙沙星之和计)最大残留限量(100 μg/kg)对样品检测结果进行评价。按照 GB 31650.1—2022《食品安全国家标准 食品中 41 种兽药最大残留限量》中规定的鱼虾中氧氟沙星、诺氟沙星、培氟沙星和洛美沙星最大残留限量(2 μg/kg)对样品检测结果进行评价。

1.8　数据处理

采用 Analyst 工作站对采集数据进行定性、定量分析, SCIEX OS 3.3.1 为数据处理分析软件, 再使用 Excel 2007 进行数据整理, 通过 Origin 2021 完成绘图。

2　结果与分析

2.1　质量控制

诺氟沙星和恩诺沙星在低浓度加标实验时, 回收率偏低, 因此采用内标法来校正基质效应和前处理过程中目标物质的损失, 氧氟沙星、培氟沙星、环丙沙星、洛美沙星采用外标法进行定量。以 *S*/*N*=3 作为方法检出限, 以 *S*/*N*=10 作为方法定量限, 检测过程中以每 10 个样品添加 1 个样品空白, 用以检查样品处理过程中外界因素对分析测定结果的影响。以不含喹诺酮类抗生素的阴性基质为对象, 在上述试验条件下设定低(5 μg/kg)、中(20 μg/kg)、高(50 μg/kg) 3 个加标水平, 对 6 种喹诺酮类抗生素的加标回收率与精密度进行检测, 重复测定 6 次, 计算加标回收率和相对标准偏差。结果表明(表 3), 在 1~100 μg/L 范围内线性关系良好, 相关系数(*r*)大于 0.999, 检出限为 0.04~0.25 μg/kg, 定量限为 0.13~0.76 μg/kg, 加标回收率为 69.3%~108.2%, 所有加标样品相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)均满足实验要求。因此该方法准确度与灵敏度满足实验要求。

2.2　苏州地区市售淡水鱼虾中 6 种喹诺酮类抗生素残留检出情况

测定的 97 份淡水鱼虾样品中 6 种喹诺酮类抗生素中, 只有恩诺沙星和环丙沙星有检出, 其余氧氟沙星、诺氟沙星、洛美沙星、培氟沙星均未检出。97 件淡水鱼虾样品中喹诺酮类抗生素的总检出率为 54.6% (53/97), 超标率为 2.06% (2/97)。其中恩诺沙星的检出率最高, 为 54.6% (53/97); 其次是环丙沙星, 检出率为 14.4% (14/97)。检出样品中恩诺沙星的含量范围为 0.5~175.8 μg/kg, 环丙沙星的含量范围为 0.4~48.0 μg/kg。63 件淡水鱼样品中喹诺酮的总体检出率为 68.3%, 其中恩诺沙星的检出率为 68.3%, 恩诺沙星的含量范围为 0.5~175.8 μg/kg, 其中 8 件鳊鱼样品中有 2 件超标, 其余淡水鱼样品中恩诺沙星均未超标。6 件草鱼样品和 8 件黑鱼样品中均检出恩诺沙星, 检出率为 100.0%。环丙沙星的检出率为 12.7%, 环丙沙星的检出范围为 0.4~41.9 μg/kg, 淡水鱼中喹诺酮抗生素超标率为 3.2%。淡水虾中喹诺酮的总体检出率为 29.4%, 其中恩诺沙星的检出率为 29.4%, 恩诺沙星的检出范围为 9.3~85.6 μg/kg, 环丙沙星的检出率为 17.6%, 环丙沙星的检出范围为 6.8~48.0 μg/kg, 淡水虾中喹诺酮抗生素均未超标。淡水虾中只有罗氏虾检出喹诺酮类抗生素, 草虾和基围虾未检出喹诺酮类抗生素。淡水鱼虾中喹诺酮类抗生素检出的平均含量为鳊鱼>罗氏虾>鲫鱼>鲈鱼>黑鱼>草鱼>白鱼>青鱼>鲢鱼>昂刺鱼。结果见表 4。

表 3 6 种喹诺酮类抗生素残留检测方法验证结果

Table 3 Validation results of 6 kinds of methods for detecting residues of quinolone antibiotics

喹诺酮类抗生素	线性方程	r	平均回收率(RSDs)/%			检出限/(μg/kg)	定量限/(μg/kg)
			5 μg/kg	20 μg/kg	50 μg/kg		
氧氟沙星	Y=26787X+2820.4	0.9996	76.5 (8.5)	82.6 (7.5)	91.5 (5.1)	0.08	0.24
诺氟沙星	Y=0.08571X–0.00959	0.9994	98.9 (3.7)	95.6 (4.5)	102.8 (4.6)	0.04	0.13
培氟沙星	Y=14523X–122.4	0.9996	69.3 (9.5)	79.9 (8.9)	92.4 (5.2)	0.22	0.66
环丙沙星	Y=42152X+2836.8	0.9997	71.2 (8.7)	82.3 (4.5)	91.5 (4.7)	0.25	0.76
恩诺沙星	Y=0.1813X+0.02032	0.9995	92.8 (5.4)	99.6 (3.8)	108.2 (2.7)	0.04	0.13
洛美沙星	Y=16509X–372.3	0.9993	73.4 (9.8)	85.7 (6.9)	93.2 (6.1)	0.09	0.27

表 4 苏州地区市售淡水鱼虾中喹诺酮类抗生素残留结果

Table 4 Results of quinolone antibiotic residues in freshwater fish and shrimp sold in Suzhou Area

样品名称	样本量/件	检出率/%		检出范围/(μg/kg)		平均值/(μg/kg)	
		恩诺沙星	环丙沙星	恩诺沙星	环丙沙星	恩诺沙星	环丙沙星
鲢鱼	8	37.5	/	0.5~4.3	/	1.0	/
鲈鱼	12	83.3	16.7	1.8~64.4	0.4~6.3	8.8	0.6
草鱼	6	100	/	0.8~22.2	/	6.1	/
黑鱼	8	100	12.5	1.1~15.7	1.5	8.2	0.2
鲫鱼	10	90	10	1.8~49.1	47.1	28.2	4.7
白鱼	2	50	/	11.2	/	5.6	/
鳊鱼	8	50	50	75.9~175.8	2.5~41.9	59.4	10.8
昂刺鱼	6	16.7	/	3.1	/	0.5	/
青鱼	3	33.3	/	4.1	/	1.4	/
草虾	12	/	/	/	/	/	/
基围虾	8	/	/	/	/	/	/
罗氏虾	14	71.4	42.8	9.3~85.6	6.8~48.0	36.8	6.0
总计	97	54.6	14.4			15.2	2.3

根据鱼虾的生活习性, 将其分为上、中、下层鱼, 其中鲢鱼和白鱼生活在水域上层, 草鱼和鲈鱼生活在水域中层, 而鲫鱼、鳊鱼、青鱼、黑鱼、昂刺鱼和虾在水域底层活动觅食, 归为下层, 对其平均检出率分析发现, 中层鱼的恩诺沙星检出率最高, 其中草鱼的检出率为 100%, 鲈鱼的检出率也达到了 83.3%, 原因可能为草鱼选购的重量较大, 鱼的生长周期长, 进入鱼体内的抗生素不易在短时间内被代谢分解, 随鱼的生长而积累在鱼体内。而鲈鱼的检出率高, 与鲈鱼价格较高, 养殖户为了追求利润, 高密度养殖, 为了减少损耗, 违规加大用药量有关。虽然下层鱼平均恩诺沙星检出率没有中层鱼高, 但黑鱼中恩诺沙星的检出率高达 100%, 原因可能为黑鱼栖息于淤泥底层水域, 以腐食生物为饵料, 体内易富集有机污染物, 同时黑鱼作为顶级捕食者, 其污染物富集现象符合生态学中的生物放大效应。而虾中只有罗氏虾有检出, 这与罗氏虾适应能力强, 养殖的水体受到污染, 和在养殖过程中滥用药物有关。总体来看, 中下层鱼的喹诺酮类抗生素残留高于上层鱼, 与水底淤泥中抗生素浓度较高, 鱼类栖息在水底并以底层的藻类、生物为食有关。

2.3 苏州地区市售淡水鱼虾中 6 种喹诺酮类抗生素暴露风险评估

遵循国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)对食品中污染物风险评估所设定的定义与方法。利用点评估模型求出每日单位体重的喹诺酮类药物的膳食暴露量(摄入量), 并结合食品安全指数, 以鱼虾中的喹诺酮类抗生素为其单一暴露途径, 对市售 9 种淡水鱼类和 3 种虾中喹诺酮类药物残留的暴露风险予以评估。按照《中国居民膳食指南(2022 版)》中 10 个性别/年龄组水产品消费量(表 5)的数据进行评估。GB 31650—2022 中推荐恩诺沙星 ADI(计为恩诺沙星和环丙沙星之和)为 6.2 μg/(kg • BW • d), 洛美沙星为 25 μg/(kg • BW • d), 诺氟沙星为 14 μg/(kg • BW • d), 氧氟沙星为 5 μg/(kg • BW • d)。目前未查询到培氟沙星的每日允许摄人量, 采用每日临床最低治疗剂量除以 1000 安全因素系数再除以 60 kg 体重计算, 估算出培氟沙星每日允许摄入量为 6.6 μg/(kg • BW • d)。

表 5　市售淡水鱼虾中喹诺酮类抗生素风险暴露评估

Table 5　Risk assessment of quinolone antibiotic residues in freshwater fish and shrimp sold

化合物名称	平均残留量/(μg/kg)	年龄	性别	体重/kg	水产品消费量/(g/d)	ADI/[μg/(kg・BW・d)]	EDI_c/μg	IFS_c
恩诺沙星和环丙沙星	17.5	2~7	男	17.9	21.8	6.2	0.3815	0.0034
			女					
		8~12	男	33.1	37.3		0.6528	0.0032
			女					
		13~19	男	56.4	54.1		0.9468	0.0027
			女	50.0	41.3		0.7228	0.0023
		20~50	男	63.0	69.3		1.2128	0.0031
			女	56.0	60.1		1.0518	0.0030
		51~65	男	65.0	74.5		1.3038	0.0032
			女	58.0	63.1		1.1043	0.0030
		>65	男	59.5	81.6		1.4280	0.0038
			女	52.0	61.0		1.0675	0.0033

从表 5 可以看出, 喹诺酮类抗生素 IFS_c 在 0.0023~0.0038 之间, 远小于 1 (<0.01), 表明食品安全无风险, 无需进入风险管理程序, 市民可以放心食用。对比发现, 儿童和老年人的喹诺酮类抗生素暴露风险高于成年人。

但是不同种类的鱼虾检出范围却相差很大, 草鱼和黑鱼的检出率虽然 100%, 但检出的浓度范围并不高, 而鳊鱼的检出率虽然只有 50%, 但浓度范围却达到了 75.9~175.8 μg/kg, 对不同种类的鱼虾喹诺酮暴露风险进行了评估, 结果见图 1。

总体上, 不同种类的淡水鱼虾中恩诺沙星和环丙沙星的残留量相差较大, 淡水鱼虾中, 虽然草鱼和黑鱼的恩诺沙星的检出率达到 100%, 所有样品均有检出, 但是食用鳊鱼的暴露风险是最高的, IFS_c(鳊鱼)> IFS_c(罗氏虾)>IFS_c(鲫鱼), 食用草虾、基围虾、鲢鱼、昂刺鱼、青鱼风险最低, 其中相同年龄段男性和女性食用不同种类淡水鱼虾的抗生素暴露风险没有明显差异。

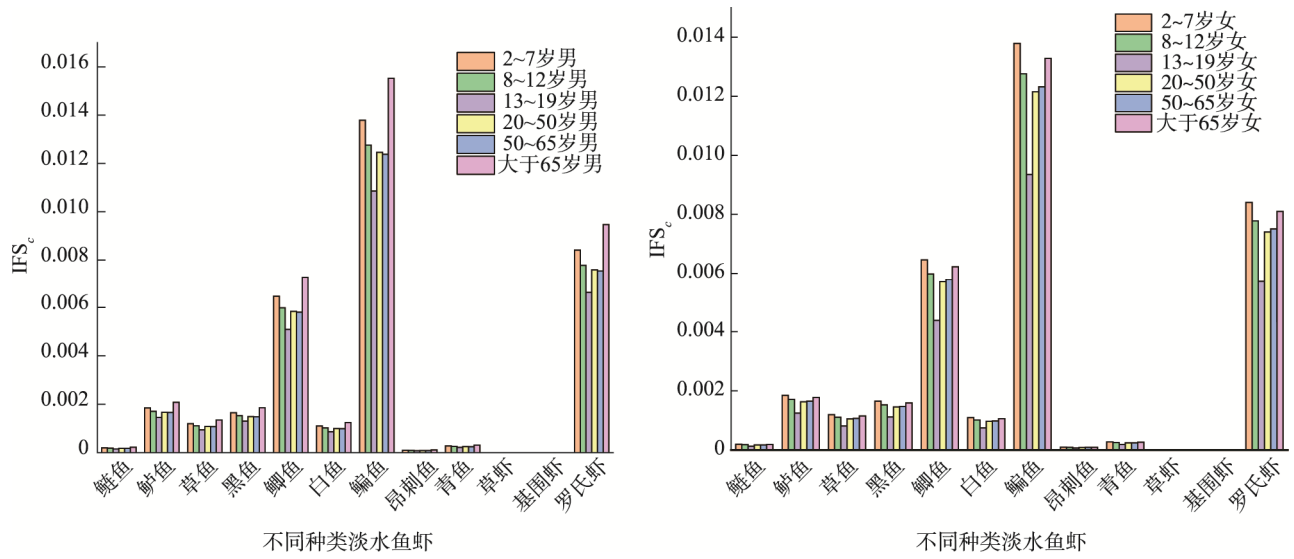


图 1　食用不同种类淡水鱼虾中抗生素的暴露风险

Fig.1　Dietary risk assessment of quinolones in freshwater fish and shrimp

3　结论与讨论

本研究分析了 2025 年苏州市市售 97 份淡水鱼虾样品中喹诺酮类抗生素的残留, 并进行了膳食暴露风险评估。喹诺酮类抗生素中, 恩诺沙星和环丙沙星的检出率较高, 而其余 4 种喹诺酮类抗生素未检出, 这与宇盛好等[32]的研究相吻合。恩诺沙星(恩诺沙星和环丙沙星的总和计算)的膳食暴露风险高于其他药物, 这与恩诺沙星和环丙沙星

作为非违禁药有关，恩诺沙星具有广谱抗药活性、作用迅速、安全性高(治疗量和中毒量相差 250 倍)等特点，水产养殖户和商家为了防治鱼病，在水产养殖过程中普遍使用，但是抗生素类药物在鱼虾中代谢较慢，从而残留在水产品体内。

从环境因素看，喹诺酮类抗生素易被养殖水体中的悬浮颗粒物吸附，随沉降作用在水体底部积累。鲫鱼、鳊鱼属于底栖鱼类，罗氏虾生活在水塘的泥底，其摄食行为主要发生在水体底层，这使其更易受到沉积于池底的喹诺酮类抗生素影响，这可能是鳊鱼、鲫鱼、罗氏虾在本次研究中检出率和超标率相对较高的关键因素。淡水鱼虾中喹诺酮类抗生素平均含量为鳊鱼>罗氏虾>鲫鱼>鲈鱼>黑鱼>草鱼>白鱼>青鱼>鲢鱼>昂刺鱼，表现为中下层鱼类>上层鱼类的特点。

本研究对苏州市售 9 种淡水鱼 3 种虾类中的 6 种喹诺酮类抗生素残留水平和摄入风险进行暴露评估，分析表明食用淡水鱼虾中喹诺酮类抗生素暴露风险较低，处于安全水平。鉴于样本数量有限、种类有限，且采用的是《中国居民膳食指南》中居民水产品的消费量来调查分析，不能完全代表苏州市居民的消费量，后续可通过多样品、多种类采样、连续多年分析监测等来增强代表性。同时由于恩诺沙星的检出率较高的现状，渔业养殖部门应加强喹诺酮类药物的用药培训，增强养殖户的安全用药意识，同时增加抽检频次和抽检范围，确保水产品质量安全。

参考文献

[1] 张志华, 张达娟, 李泽利, 等. 于桥水库 4 种经济鱼类肌肉营养成分分析与评价[J]. 饲料工业, 2024, 45(16): 92–98.
Zhang Zhihua, Zhang Dajuan, Li Zeli, et al. Nutritional compositions and evaluation of muscle of four species of economic fish in Yuqiao reservoir [J]. Feed Industry, 2024, 45(16): 92–98.

[2] 唐金玉, 叶建勇, 戴杨鑫, 等. 江苏日本沼虾 4 个野生种群肌肉营养成分比较[J]. 水生生物学报, 2021, 45(4): 801–808.
Tang Jinyu, Ye Jianyong, Dai Yangxin, et al. Comparison of muscle nutritional compositions of four wild oriental river prawn macrobrachium nipponense populations in Jiangsu province [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2021, 45(4): 801–808.

[3] 周洲, 蒋晓红, 张龙涛, 等. 喹诺酮类抗菌药物在水产养殖中的应用进展[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(8): 161–164.
Zhou Zhou, Jang Xiaohong, Zhang Longtao, et al. Advances on applied research of quinolones antibacterial drugs in aguaculture [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2012, 40(8): 161–164.

[4] 温周瑞. 水产养殖中恩诺沙星的安全用药研究[J]. 养殖与饲料, 2025, 24(12): 47–52.
Wen Zhourui. Research on the safe use of enrofloxacin in aquaculture [J]. Animals Breeding and Feed, 2025, 24(12): 47–52.

[5] Chen Hui, Liu Shan, Xu Xiangrong, et al. Tissue distribution, bioaccumulation characteristics and health risk of antibiotics in cultured fish from a typical aquaculture area [J]. Journal of Hazardous Materials, 2018, 343: 140–148.

[6] Chen Hui, Liu Shan, Xu Xiangrong, et al. Antibiotics in typical marine aquaculture farms surrounding Hailing Island, South China: occurrence, bioaccumulation and human dietary exposure [J]. Marine Pollution Bulletin, 2015, 90: 181–187.

[7] 龙举, 杨军, 梅光明, 等. 生产和流通环节水产品中喹诺酮类抗生素污染特征及健康风险评估研究[J]. 环境科学与管理, 2023, 48(9): 185–190.
Long Ju, Yang Jun, Mei Guangming, et al. Occurrence and health risk assessment of quinolone antibiotics in aquatic products during production and circulation [J]. Environmental Science and Management, 2023, 48(9): 185–190.

[8] 李丽, 司晓晶, 黄玥, 等. 市售水产品中恩诺沙星残留现状和检测方法[J]. 农产品加工, 2023(2): 53–56, 61.
Li Li, Si Xiaojing, Huang Yue, et al. Current situation and detection methods of enrofloxacin residues in aquatic products in the market [J]. Agricultural Products Processing, 2023(2): 53–56, 61.

[9] 蒋长征, 戎江瑞, 齐敏, 等. 宁波市鲜活水产品恩诺沙星残留调查分析[J]. 现代预防医学, 2007, 34(21): 4094–4095.
Jiang Changzheng, Rong Jiangrui, Qi Min, et al. Investigation of enrofloxacin residue in fresh aquatic products in Ningbo [J]. Modern Preventive Medicine, 2007, 34(21): 4094–4095.

[10] 朱颖, 庄睿, 胡婧, 等. 山东省市售淡水鱼虾中喹诺酮类抗生素残留量分析及暴露风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2024, 36(11): 1240–1245.
Zhu Ying, Zhuang Rui, Hu Jing, et al. Analysis of quinolone antibiotics residues and exposure risk assessment in commonly marketed freshwater fish and shrimp from Shandong Province [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2024, 36(11): 1240–1245.

[11] 黄晓蓉, 郑晶, 李寿崧, 等. 鳗鱼及其制品中喹诺酮类药物残留的微生物快速检测方法研究[J]. 淡水渔业, 2005, 35(4): 3–6.
Huang Xiaorong, Zheng Jing, Li Shousong, et al. Research on rapid detection method of quinolones residues in eel and its products by microbiological method [J]. Freshwater Fisheries, 2005, 35(4): 3–6.

[12] TUMINI M, NAGEL O, MOLINA MP, et al. Microbiological assay with Bacillus licheniformis for the easy detection of quinolones in milk [J]. International Dairy Journal, 2017, 64: 9–13.

[13] 郑晶, 黄晓蓉, 郑俊超, 等. 微生物抑制法与酶联免疫法检测鳗鱼中喹诺酮类药物残留的比较研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2006, 16(1): 79–81.
Zheng Jing, Huang Xiaorong, Zheng Junchao, et al. Comparative study of microbial inhibition method and enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of quinolone residues in eel [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2006, 16(1): 79–81.

[14] 卢春霞, 刘晓川, 李海礁, 等. 酶联免疫法检测乳与乳制品中的氟喹诺酮类药物[J]. 中国食品工业, 2013(3): 60–61.
Lu Chunxia, Liu Xiaochuan, Li Haijiao, et al. Enzyme linked immune method to detect milk and dairy products of fluoroquinolone drugs [J]. China Food Industry, 2013(3): 60–61.

[15] Hu Kun, Huang Xuanyun, Jiang Yousheng, et al. Monoclonal antibody based enzyme-linked immunosorbent assay for the specific detection of ciprofloxacin and enrofloxacin residues in fishery products [J]. Aquaculture, 2010, 310: 8–12.

[16] Jiang Jinqing, Zhang Haitang, Wang Ziliang. Multiresidue determination

of sarafloxacin, difloxacin, norfloxacin, and pefloxacin in fish using an enzyme-linked immunosorbent assay [J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 8: 301–306.

[17] 黄瑞鸿. 高效液相色谱法测定乌鸡中氟喹诺酮类药物残留量[J]. 食品安全导刊, 2025(18): 98–101.
Huang Ruihong. Detection of fluoroquinolone residues in black-boned chicken using high-performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety Guide, 2025(18): 98–101.

[18] 刘文鼎, 丁国栋, 钟佳慧, 等. 基于高效液相色谱法检测鲫肌肉中 5 种氟喹诺酮类药物[J]. 江西水产科技, 2025(1): 26–30.
Liu Wending, Ding Guodong, Zhong Jiahui, et al. Detection of five kinds of fluoroquinolones in carp muscle by high performance liquid chromatography [J]. Jiangxi Fishery Sciences and Technology, 2025(1): 26–30.

[19] 王克超, 秦思文, 宋鸽, 等. 高效液相色谱-质谱联用仪检测牛奶中 17 种喹诺酮类药物残留量的研究[J]. 中国乳业, 2025(8): 94–101.
Wang Kechao, Qin Siwen, Song Ge, et al. Study on the detection of 17 quinolone drug residues in milk by high performance liquid chromatography-mass spectrometry [J]. China Dairy, 2025(8): 94–101.

[20] 罗静, 郑良清, 尚吟竹, 等. 基质固相分散-液相色谱-串联质谱联用技术检测鸡蛋中 14 种氟喹诺酮类药物残留[J]. 分析科学学报, 2018, 34(5): 654–658.
Luo Jing, Zheng Liangqing, Shang Yinzhu, et al. Matrix solid-phase dispersion coupled with liquid chromatography-tandem mass spectrometry for the determination of fluoroquinolones residues in eggs [J]. Journal of Analytical Science, 2018, 34(5): 654–658.

[21] 李照, 常建军, 喻东威, 等. 液质联用检测液体乳中四环素类和喹诺酮类兽药残留量[C]//中国乳制品工业协会第二十六次年会论文集, 2020: 160–164.
Li Zhao, Chang Jianjun, Yu Dongwei, et al. HPLC-MS/MS determination of tetracycline and quinolone veterinary drug residues in liquid milk [C]//Proceedings of the 26th Annual Meeting of the China Dairy Industry Association, 2020: 160–164.

[22] 管凡荀, 高鹏飞, 汤亚云, 等. 基于液相色谱和液质联用法的动物源性食品中氟喹诺酮类与酰胺醇类药物残留检测研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(6): 448–458.
Guan Fanxun, Gao Pengfei, Tang Yayun, et al. Research progress on residue detection of methods of fluoroquinolones and amphenicols in animal-derived foods based on liquid chromatographic and liquid chromatographic mass spectrometry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(6): 448–458.

[23] 王志昱, 张桂芳, 张晓瑜, 等. QuEChERS-高效液相色谱-质谱联用法同时检测鸡胗和鸡肝中 15 种喹诺酮类和四环素类抗生素[J]. 肉类研究, 2020, 34(3): 51–57.
Wang Zhiyu, Zhang Guifang, Zhang Xiaoyu, et al. Simultaneous determination of 15 quinolones and tetracyclines antibiotics in chicken gizzard and liver by QuEChERS-high performance liquid chromatography-mass spectrometry [J]. Meat Research, 2020, 34(3): 51–57.

[24] 张宪臣, 华洪波, 张朋杰, 等. 平行定量浓缩仪-超高效液相色谱-串联质谱联用快速检测鳗鱼中 8 种喹诺酮类药物残留量[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 190–195.
Zhang Xianchen, Hua Hongbo, Zhang Pengjie, et al. Parallel quantitative concentrator-ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry for rapid determination of residue of eight quinolones in eels [J]. Food Science, 2012, 33(12): 190–195.

[25] Zeng Yan, Yang Qiaohui, Li Xiaxue, et al. Simultaneous determination of 61 veterinary drug residues in animal derived food by clean-up LPAS combined with LC-MS/MS [J]. American Journal of Analytical Chemistry, 2025, 16, 43–67.

[26] Li Na, Liang Mengnan, Zhang Hao, et al. Effective extraction and determination of 24 quinolones in water and egg samples using a novel magnetic covalent organic framework combined with UPLC-MS/MS [J]. RSC Advances, 2024, 14, 8303–8312.

[27] Storey J M, Clark S B, Johnson A S, et al. Analysis of sulfonamides, trimethoprim, fluoroquinolones, quinolones, triphenylmethane dyes and methyltestosterone in fish and shrimp using liquid chromatography–mass spectrometry [J]. Journal of Chromatography B, 2014, 972, 38–47.

[28] 李日锋, 吴虹, 宗敏华. 区带毛细管电泳法同时分离检测 6 种喹诺酮类抗生素[J]. 现代食品科技, 2009, 25(12): 1468–1471, 1457.
Li Rifeng, Wu Hong, Zong Minhua. Simultaneous separation and detection of six quinolones by capillary zone electrophoresis [J]. Modern Food Science & Technology, 2009, 25(12): 1468–1471, 1457.

[29] 吴凌荔, 秦卫东. 喹诺酮类抗生素的高效毛细管电泳法分离检测[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2006, 42(1): 66–69.
Wu Lingli, Qin Weidong. Separation of quinolones by capillary electrophoresis [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2006, 42(1): 66–69.

[30] 赵燕燕, 王丽娟, 李月秋, 等. 胶束毛细管电泳在线推扫技术分离检测猪肉组织中痕量喹诺酮类药物[J]. 高等学校化学学报, 2007, 28(1): 62–64.
Zhao Yanyan, Wang Lijuan, Li Yueqiu, et al. On-line sweeping determination of quinolones in pork tissue by micellar capillary electrophoresis [J]. Chemical Journal of Chinese Universities, 2007, 28(1): 62–64.

[31] 周梅仙, 周业飞, 刘文琪, 等. 高效毛细管电泳法分离检测鸡蛋中 3 种喹诺酮类抗菌药[J]. 西北农业学报, 2013, 22(3): 38–43.
Zhou Meixian, Zhou Yefei, Liu Wenqi, et al. Separation and detection of three quinolones by highly performance capillary electrophoresis in eggs [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2013, 22(3): 38–43.

[32] 宇盛好, 李亦奇, 彭少杰. 2021—2023 年上海市市售虾蟹贝类中喹诺酮类抗生素的残留水平和膳食风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(21): 340–347.
Yu Shenghao, Li Yiqi, Peng Shaojie. Residue levels and dietary risk assessment of quinolone antibiotics in commercially available shrimp, crabs and shellfish in Shanghai from 2021 to 2023 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(21): 340–347.

(责任编辑: 韩晓红　蔡世佳)