

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250407002

引用格式: 孙潇, 张晨, 曹民, 等. 基于食品安全指数评估北京市售淡水鱼虾喹诺酮类抗生素残留风险[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(14): 10–16.

SUN X, ZHANG C, CAO M, *et al.* Assessment of the risk of quinolone antibiotic residues in freshwater fish and shrimp sold in Beijing based on the index of food safety [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(14): 10–16. (in Chinese with English abstract).

基于食品安全指数评估北京市售淡水鱼虾喹诺酮类抗生素残留风险

孙潇¹, 张晨¹, 曹民¹, 林强^{2*}, 范赛^{3*}

(1. 北京市昌平区疾病预防控制中心, 北京 102200; 2. 北京市延庆区疾病预防控制中心, 北京 102100;
3. 北京市疾病预防控制中心, 北京 100013)

摘要: 目的 了解北京市售淡水鱼虾中 6 种喹诺酮类抗生素的残留情况及暴露水平。**方法** 随机抽检 2023—2024 年北京市 9 个区县 40 个商超农贸市场的 90 件淡水鱼虾产品, 采用液相色谱-串联质谱法对鱼虾肉中的 6 种喹诺酮类抗生素含量进行测定。通过食品安全指数(index of food safety, IFS)评估鱼虾中喹诺酮类抗生素残留量对 10 个性别/年龄组居民的暴露风险。**结果** 90 件鱼虾样品中有 4 种喹诺酮类抗生素检出, 培氟沙星的检出率为 1.11% (1/90), 氧氟沙星的检出率为 1.11% (1/90), 恩诺沙星的检出率为 26.67% (24/90), 环丙沙星的检出率为 6.67% (6/90), 且培氟沙星、氧氟沙星、恩诺沙星有超标样本检出, 超标率分别为 1.11% (1/90)、1.11% (1/90)、5.56% (5/90), 诺氟沙星和洛美沙星在所有样品中均未检出。在常规暴露情景和最坏暴露情景下, 喹诺酮类抗生素 IFS 范围分别处于 0.040~0.067 和 0.170~0.283 之间, 远小于 1。**结论** 本次研究中北京市售淡水鱼虾中喹诺酮类抗生素检出以恩诺沙星、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, 为水产品质量评估及食品安全标准修订提供区域性数据支撑。

关键词: 喹诺酮类抗生素; 淡水水产品; 食品安全指数法; 风险评估

Assessment of the risk of quinolone antibiotic residues in freshwater fish and shrimp sold in Beijing based on the index of food safety

SUN Xiao¹, ZHANG Chen¹, CAO Min¹, LIN Qiang^{2*}, FAN Sai^{3*}

(1. Beijing Changping District Center for Disease Prevention and Control, Beijing 102200, China;
2. Beijing Yanqing District Center for Disease Prevention and Control, Beijing 102100, China;
3. Beijing Center for Disease Prevention and Control, Beijing 100013, China)

ABSTRACT: Objective To understand the residue status and exposure levels of 6 kinds of quinolone antibiotics in

收稿日期: 2025-04-07

基金项目: 北京市食品风险监测项目(BJSP2021101345)

第一作者: 孙潇(1992—), 女, 主管技师, 主要研究方向为食品理化检测。E-mail: camille_suen@sina.com

*通信作者: 林强(1986—), 男, 硕士, 副主任医师, 主要研究方向为卫生检验方向。E-mail: 412163050@qq.com

范赛(1982—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品安全。E-mail: fansai@163.com

common freshwater fish and shrimp sold in Beijing. **Methods** The 90 freshwater fish and shrimp products from 40 supermarkets and farmers' markets in 9 districts and counties of Beijing were randomly sampled for the determination of 6 kinds of quinolone antibiotics in fish and shrimp meat by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. The exposure risk of quinolone antibiotic residues in fish and shrimp to residents of 10 gender/age groups was assessed by the index of food safety (IFS). **Results** The 4 kinds of quinolone antibiotics were detected in 90 fish and shrimp samples. The detection rate for pefloxacin, ofloxacin, enrofloxacin and ciprofloxacin were 1.11% (1/90), 1.11% (1/90), 26.67% (24/90) and 6.67% (6/90). There were excessive samples of pefloxacin, ofloxacin and enrofloxacin detected, with an exceedance rate of 1.11% (1/90), 1.11% (1/90) and 5.56% (5/90) respectively. Norfloxacin and lomefloxacin were not detected in all samples. The IFS of quinolone antibiotics ranged from 0.040–0.067 in the general-case scenario and from 0.170–0.283 in the worst-case scenario, which was much less than 1. **Conclusion** The detection of quinolone in freshwater fish and shrimp sold in Beijing is dominated by enrofloxacin and ciprofloxacin, and the health risk of 6 kinds of quinolone antibiotics to human beings is at a safe level in this study, which provides regional data support for the assessment of the quality of aquatic products and the revision of food safety standards.

KEY WORDS: quinolone antibiotics; freshwater aquatic products; index of food safety; risk assessment

0 引言

鱼虾类水产品是人类膳食营养中蛋白质的主要来源之一, 具有高蛋白质和低饱和脂肪的优点, 近年来消费者对鱼虾类水产品的消费兴趣与日俱增。为满足日益增长的需求, 养殖户多采用集约化或半集约化的养殖方式增加产量^[1-2], 在高密度的养殖条件下, 使水产病害的发生、传播的控制难度加大, 因此养殖户采取在喂养饲料中添加抗生素或直接将抗生素添加到养殖塘水中的方式预防控制疾病感染, 减少经济损失^[3-4]。

喹诺酮类抗生素是以 4-喹诺酮母核为基本结构的人工合成抗菌药, 氧氟沙星、诺氟沙星、培氟沙星、恩诺沙星、环丙沙星和洛美沙星是第 3 代喹诺酮类抗生素的典型代表, 凭借代谢稳定、抗菌谱广等特性, 在水产养殖中被广泛应用。喹诺酮类抗生素的长期使用使其在养殖水产品中不断蓄积, 并通过食物链进入人体^[5-9]。且由于抗生素在各类动物养殖业中的广泛应用, 导致环境长期处于抗生素“假持续”状态, 长此以往在人体内形成蓄积。过量的喹诺酮类抗生素会导致性早熟、肝肾衰竭、急性中毒等疾病, 更重要的是会造成微生物耐药基因的形成及传播, 从而削弱临床抗生素的治疗效果, 成为公共卫生安全的一大隐患^[7,9-11]。为保证消费者健康, 政府制定了相关喹诺酮类抗生素的残留限量标准, 根据 GB 31650—2019《食品安全国家标准 食品中兽药最大残留限量》及 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》规定, 鱼类样品中氧氟沙星、诺氟沙星、洛美沙星最大残留限量为 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 恩诺沙星残留标志物记为恩诺沙星与环丙沙星之和, 最大残留限量为 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$; 农业部公告第 2292 号规定培氟沙星禁止在食用动物中使用。

食品安全指数法(index of food safety, IFS)是一种以量化形式反映食品中污染物对人体健康影响的综合性风险评估方法, 传统分析方法(如合格率评估)仅能判断污染物是否超标, 无法反映风险程度。IFS 通过结合食品摄入量、污染物残留水平及每日允许摄入量等多维数据, 动态评估暴露风险, 广泛应用于各类食品中的农药残留、兽药残留和重金属残留的风险评估^[10,11-13]。

目前, 针对水产品中喹诺酮类抗生素残留的研究主要集中在检测方法的开发, 关于残留量统计分析的报道大多以沿湖海地区为主, 浙江、山东、广州等地淡水鱼虾产品近期均存在较高水平的喹诺酮类抗生素检出, 并出现超标违规现象^[4,14-16]。但针对北京市售水产品中喹诺酮类抗生素残留量分析数据较少, 因此有必要开展相关监测分析。本研究结合居民水产品消费量, 对 2023—2024 年北京市市售淡水鱼虾中 6 种喹诺酮类抗生素进行风险评估。旨在丰富北京地区的水产品喹诺酮残留数据, 与国内其他地区数据形成互补, 为全国范围更宏观的水产品质量研究、标准制定提供区域样本支撑。

1 材料与方法

1.1 样品采集

本研究中淡水鱼虾购自北京市石景山区、通州区、门头沟区、昌平区、顺义区、海淀区、丰台区、密云区、大兴区 9 个区 40 个商超农贸市场, 选择居民日常食用频次相对较高的 9 种淡水鱼(草鱼、河鲈鱼、鲫鱼、鲤鱼、罗非鱼、黑鱼、鲟鱼、黄辣丁、武昌鱼)和 4 种淡水虾(罗氏虾、白虾、河虾、小龙虾), 共计 13 类 90 件北京市售常见淡水鱼虾类样品, 采样工作于 6~7 月开展, 每个区随机抽取 3 个采样点以上, 并于相应采样点收集 2~3 份样品, 所采样品

质量不低于 500 g。所有样品采集、储存后检测均按照 GB/T 30891—2014《水产品抽样规范》完成。现场采集到的样品放至存有冰块的转运箱中运送至实验室,去鳞去壳后取肌肉部分存样,保存至-20℃冰柜中。具体采样信息见表 1。

表 1 市售淡水鱼虾随机采样信息表
Table 1 Random sampling information table of fish and shrimp sold in Beijing

采样品种	采样区域								
	石景山	通州	门头沟	昌平	顺义	海淀	丰台	密云	大兴
草鱼	-	√	-	√	√	-	√	√	√
河鲈鱼	√	√	√	√	-	√	√	√	√
鲫鱼	√	√	√	√	√	-	√	√	√
鲤鱼	√	-	√	√	√	-	√	√	√
罗非鱼	√	-	-	√	-	-	-	-	√
黑鱼	-	-	-	√	-	-	√	-	√
鲟鱼	-	-	-	-	-	√	-	-	-
黄辣丁	-	√	-	-	-	-	-	-	√
武昌鱼	√	√	-	√	-	-	-	-	√
罗氏虾	-	-	-	-	-	√	-	-	-
白虾	√	-	-	-	-	-	-	-	-
河虾	√	-	√	√	-	√	√	-	-
小龙虾	-	√	√	√	√	-	√	-	-

注:√表示采集;-表示未采集。

1.2 仪器与试剂

Triple Quad 4500 液相色谱-三重四极杆串联质谱联用仪(美国 AB SCIEX 公司); Waters ACQUITY UPLC® BEH C₁₈ 色谱柱(2.1 mm×100 mm, 1.7 μm)、Waters Oasis PRiME-HLB 固相萃取柱(200 mg/6 mL)(美国 Waters 公司); BCE423i-1CCN 型电子天平[精度 1 mg, 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司]; N-EVAP 112 型氮吹仪(美国 Organomation 公司); QL-901 型旋涡振荡器(海门市其林贝尔仪器制造有限公司); 2-16KL 型高速冷冻离心机(德国 SIGMA 公司); Milli-Q 去离子水发生器(美国 Millipore 公司)。

氧氟沙星、诺氟沙星、培氟沙星、恩诺沙星、环丙沙星、洛美沙星标准品(纯度>98%, 德国 Dr.Ehrenstorfer 公司); 甲醇、乙腈、甲酸(色谱纯, 美国赛默飞世尔科技公司); 乙二胺四乙酸二钠、柠檬酸、十二水合磷酸氢二钠(分析纯, 中国医药集团有限公司)。

1.3 样品处理

依据国家安全风险评估中心编制的《2024 国家食品污染物和有害因素风险监测工作手册》内相关标准操作规程,结合 GB 31658.17—2021《食品安全国家标准 动物性食品中四环素类、磺胺类和喹诺酮类药物残留量的测定液相色谱-串联质谱法》,准确称取均质试样 2 g(精确到 0.01 g)置于 50 mL 聚丙烯离心管中,加入 10 mL 0.1 mol/L 乙二胺四乙酸-McIlvaine 缓冲溶液,涡旋振荡 10 min, 10000 r/min 低温(4℃)离心 5 min, 采用此过程提取两次,

并合并上清液。取上清液至 Waters Oasis@PRiME-HLB 固相萃取柱中,将过柱后的上清液于 40℃水浴温度下氮气吹干,用 1 mL 0.1%甲酸水溶液复溶,涡旋混合 1 min,待上机测定。同步制备平行、空白、加标回收样品。

1.4 溶液配制

标准储备液(1000 mg/L): 分别称取 0.01 g 标准品置于 10.0 mL 棕色容量瓶中,用 0.1%甲酸甲醇溶解并定容至刻度,标准储备液质量浓度为 1000 mg/L, -20℃冰箱中保存,有效期 3 个月。

混合标准工作液(10 mg/L): 分别取各标准储备液(1000 mg/L) 100 μL 至 10.0 mL 容量瓶中,用甲醇定容至刻度,配成混合标准溶液。各组分质量浓度为 10 mg/L, 4℃保存,可保存 3 个月。

基质工作曲线的绘制: 用甲醇将混合标准工作液稀释为 10、100、1000 μg/L 的混合标准使用液。为减小基质效应对待测目标物结果的影响,采用提前筛选出的鱼肉空白基质按照上述固相萃取法前处理,配制成 1.0、2.5、5.0、10.0、20.0、50.0、100.0 μg/L 的基质工作曲线溶液。

1.5 实验条件

1.5.1 液相色谱条件

液相色谱柱: Waters ACQUITY UPLC® BEH C₁₈ 柱(2.1 mm×100 mm, 1.7 μm); 柱温 40℃; 进样量 5 μL; 流速 0.2 mL/min; 流动相 A 为 0.1%甲酸水溶液; 流动相 B 为 40%甲醇-乙腈溶液; 梯度洗脱程序: 0~0.01 min, 90% A; 0.01~6.00 min, 90%~70% A; 6.00~9.00 min, 70%~50% A; 9.00~10.50 min, 50%~0% A; 10.50~12.00 min, 0% A; 12.00~13.00 min, 0%~90% A; 13.00~15.00 min, 90% A。

1.5.2 质谱条件

离子源: 电喷雾电离(electrospray ionization, ESI), ESI(+)模式; 扫描模式: 多离子反应监测采集模式; 喷雾电压: 5.5 kV; 离子源温度: 550℃; 气帘气压力: 2.5×10⁵ Pa; 雾化气压力: 5.5×10⁵ Pa; 辅助加热气压力: 5.5×10⁵ Pa。6 种喹诺酮类抗生素详细质谱参数见表 2。

表 2 6 种喹诺酮类抗生素 MRM 参数
Table 2 MRM parameters of 6 kinds of quinolone antibiotics

喹诺酮类 抗生素	母离子 /Da	子离子 /Da	碰撞能量 /eV	去簇电压 /V	保留时间 /min
培氟沙星	333.9	315.9 290.9*	27 25	90	5.51
氧氟沙星	362.0	318.1* 261.0	26 35	90	5.46
恩诺沙星	360.1	316.2* 342.2	26 30	90	6.32
环丙沙星	332.1	314.3* 288.0	27 25	80	5.69
洛美沙星	352.3	265.2* 308.2	23 30	90	6.12
诺氟沙星	320.2	301.9* 276.1	28 25	80	5.44

注: *为定量离子。

1.6 市售鱼虾中喹诺酮类抗生素风险暴露评估方法

遵循国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)针对食品中污染物风险评估所设定的定义与步骤开展。运用暴露评估中的点评估法结合食品安全指数,以鱼虾中的喹诺酮类抗生素为其单一暴露途径,对市售常见 9 种淡水鱼类和 4 种淡水虾中喹诺酮类药物残留的安全性予以评估,具体计算公式见式(1)^[17]:

$$IFS = \frac{C \times F}{BW \times ADI} \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中: C 代表污染物于鱼虾水产品中的残留浓度, $\mu\text{g}/\text{kg}$; F 为鱼虾水产品每日摄入量, g/d , 参考第 5 次中国总膳食研究 10 个性别/年龄组水产品日消费量(表 3); BW 为平均体重(body weight)(见表 3)^[18], kg ; ADI 为污染物每日允许的摄入量(allowable daily intake), $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW} \cdot \text{d})$ 。当 $IFS \geq 1$ 时,表示存在风险,当 $IFS < 1$ 时,表示无风险;且 IFS 数值与风险成正比。

表 3 第 5 次中国总膳食研究 10 个性别/年龄组水产品消费量
Table 3 Aquatic products consumption of 10 age/sex groups in the 5th China total diet study

年龄/岁	性别	平均体重/kg	水产品消费量/(g/d)
2~7	男	17.9	21.8
	女		
8~12	男	33.1	37.3
	女		
13~19	男	56.4	54.1
	女	50.0	41.3
20~50	男	63.0	69.3
	女	56.0	60.1
51~65	男	65.0	74.5
	女	58.0	63.1
大于 65	男	59.5	81.6
	女	52.0	61.0

根据 GB 31650—2019、GB 31650.1—2022, 恩诺沙星每日允许摄入量(计为恩诺沙星和环丙沙星之和)为 $6.2 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW} \cdot \text{d})$, 洛美沙星每日允许摄入量为 $25 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW} \cdot \text{d})$, 诺氟沙星每日允许摄入量为 $14 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW} \cdot \text{d})$, 氧氟沙星每日允许摄入量为 $5 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW} \cdot \text{d})$, 目前在国家标准、相关国内外

卫生组织、食品安全部门均未查询到培氟沙星的每日允许摄入量,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 $6.6 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{BW} \cdot \text{d})$ ^[19-20]。

1.7 数据处理

采用 Analyst 工作站对采集数据进行定性、定量分析, MultiQuant 2.1 为数据处理分析软件,再使用 Excel 2019 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

以不含 6 种喹诺酮类抗生素的空白基质为对象,在恒定的试验条件设定低($0.5 \mu\text{g}/\text{kg}$)、中($5.0 \mu\text{g}/\text{kg}$)、高($25.0 \mu\text{g}/\text{kg}$) 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,3 个添加水平浓度下分别测定 6 次,计算加标回收率和相对标准偏差。本次实验中 3 个加标水平下平均加标回收率在 $65.4\% \sim 108.6\%$, 相对标准偏差数值均小于 15% (样本量 $n=6$)。线性范围、检出限和定量限见表 4,且满足实验要求。

2.2 市售鱼虾中 6 种喹诺酮类抗生素整体检出情况

采用上述检测方法对从北京市售 9 个地区 40 个商超农贸市场购买的居民日常食用频次较高的 13 种淡水鱼虾进行喹诺酮类抗生素残留检测,4 种喹诺酮类抗生素存在检出,包括培氟沙星、氧氟沙星、恩诺沙星及环丙沙星。

所检测 90 件样品中,共计 24 件样品含有喹诺酮类抗生素,总检出率为 26.67% 。其中培氟沙星检出件数及超标件数均为 1 件,检出率 1.11% ,合格率 98.89% ,超标率为 1.11% ($1/90$),残留量为 $5.69 \mu\text{g}/\text{kg}$; 氧氟沙星检出件数及超标件数均为 1 件,检出率 1.11% ,合格率 98.89% ,超标率为 1.11% ($1/90$),残留量为 $200.39 \mu\text{g}/\text{kg}$; 恩诺沙星检出件数为 24 件,检出率 26.67% ,合格率为 94.44% ,超标率为 5.56% ($5/90$),药物残留量范围 $2.34 \sim 875.00 \mu\text{g}/\text{kg}$; 环丙沙星检出件数 6 件,检出率为 6.67% ,药物残留量范围 $1.62 \sim 149.68 \mu\text{g}/\text{kg}$,90 件样品中均未检出洛美沙星和诺氟沙星 2 类抗生素。与针对中国山东省 6 种喹诺酮类抗生素的研究结果

表 4 水产品中 6 种喹诺酮类抗生素残留检测方法验证结果

Table 4 Verification results of detection methods for 6 kinds of quinolone antibiotics residues in aquatic products

喹诺酮类抗生素	线性范围/ $(\mu\text{g}/\text{L})$	r^2 值	(平均回收率 \pm 相对标准偏差)%			检出限/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	定量限/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$
			低	中	高		
培氟沙星	1~100	0.9983	92.4 \pm 8.7	101.4 \pm 4.8	108.6 \pm 9.9	0.1	0.3
氧氟沙星	1~100	0.9992	65.4 \pm 8.8	74.3 \pm 8.8	71.2 \pm 3.3	0.1	0.3
恩诺沙星	1~100	0.9988	76.7 \pm 14.4	74.2 \pm 3.0	77.7 \pm 5.6	0.1	0.3
环丙沙星	1~100	0.9994	98.4 \pm 9.4	96.1 \pm 9.0	101.0 \pm 4.5	0.1	0.3
洛美沙星	1~100	0.9992	71.2 \pm 13.0	77.7 \pm 9.8	71.5 \pm 6.2	0.1	0.3
诺氟沙星	1~100	0.9999	92.1 \pm 9.6	95.2 \pm 9.5	101.1 \pm 7.8	0.1	0.3

相比^[14],本次检测呈现出相似趋势,表现为残留量恩诺沙星>环丙沙星>氧氟沙星>其余 3 种喹诺酮类抗生素。其中恩诺沙星、环丙沙星、氧氟沙星的检出率分别为 41.90%、8.75%、1.25%,总检出率达 43.10%。与之相比,本次北京市水产品检测中呈现的抗生素残留检出率相对较低,这一现象可能由调查样本基数、养殖环节用药规范程度、抽检品种类分布以及地方监管效能等多重因素共同作用所致。结合北京市近年来持续强化的食用农产品质量安全专项整治行动,较低的检出率可能在一定程度上反映出属地监管措施的有效性。

2.3 市售鱼和虾不同种类间 6 种喹诺酮类抗生素检出情况

所检 9 种鱼类中有 5 种检出恩诺沙星,4 种检出环丙沙星,1 种检出培氟沙星,1 种检出氧氟沙星,其中 5 种鱼类检出 2 种及以上喹诺酮类抗生素残留。鱼类样品检出主要集中在鲈鱼、鲤鱼、草鱼和黑鱼中。6 件超标样品(占总样品的 6.67%)均来自上述鱼类,具体包括:2 件鲈鱼(33.33%)、2 件草鱼(33.33%)、1 件鲤鱼(16.67%)及 1 件黑鱼(16.67%)。

4 种虾类中有 3 种检出恩诺沙星,其余 5 种喹诺酮类抗生素在虾类样品中均未检出,培氟沙星、氧氟沙星仅在鱼类样品中有检出且超标。由表 5 可见,本次检测中恩诺沙星在鱼类样品中的检出率显著高于虾类样品,且鱼类样品恩诺沙星的超标率为 8.33%;虾类样品虽检测出恩诺沙星,但并未出现超标情况。

2.4 商超与农贸市场 6 种喹诺酮类抗生素检出情况

本研究共采集北京市 90 件淡水水产品,其中 45 件来自商超(覆盖常见连锁品牌及小型商店),45 件来自农贸市场(包括社区早市及传统农贸市场)。商超和农贸市场 6 种喹诺酮类抗生素检出率分别为 28.89% (13/45)、24.44% (11/45);6 件超标样品中,83.33% (5/6)集中于农贸市场渠道,早市摊位占其中的 20.00% (1/5),另有 1 件超标样品来自商超中的小型商店。

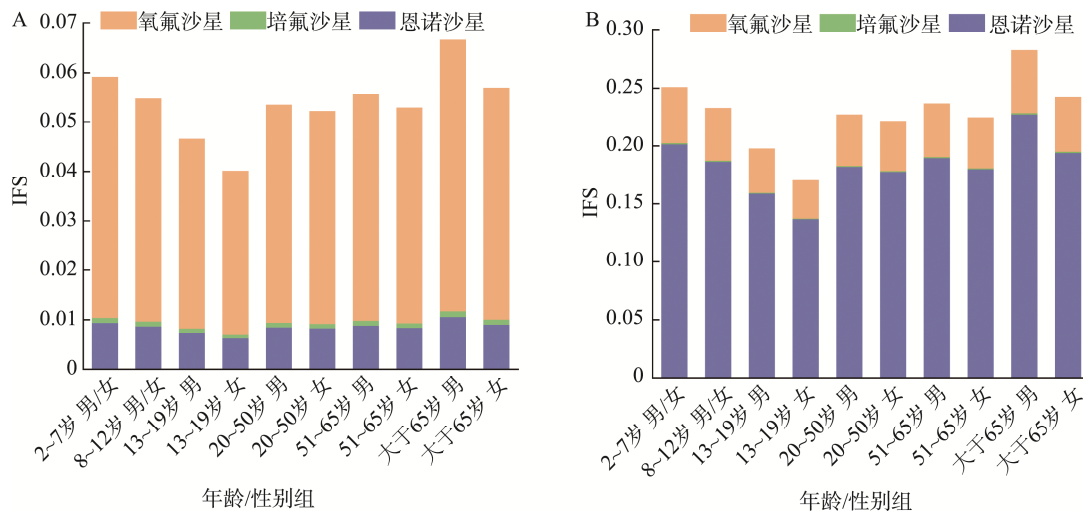


图 1 10 个年龄/性别居民在常规情况(A)和最坏情况(B)下喹诺酮的 IFS

Fig.1 IFS of quinolones for 10 age/gender residents under the general-case (A) and the worst-case scenarios (B)

表 5 北京市售淡水鱼虾不同种类间喹诺酮类抗生素检出情况与超标情况

Table 5 Detection situations and exceeding situations of quinolone antibiotics in different species of fish and shrimp sold in Beijing

类别	检测项目	检出率 /%	超标率 /%	平均残留量 /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	残留量范围 /($\mu\text{g}/\text{kg}$)
鱼类	恩诺沙星	35.00	8.33	83.39	2.34~875.00
	环丙沙星	10.00	未超标	11.78	0.96~149.68
	氧氟沙星	1.67	1.67	200.39	200.39
	培氟沙星	1.67	1.67	5.69	5.69
虾类	恩诺沙星	10.00	未超标	5.26	3.12~9.03
	环丙沙星	/	/	/	/
	氧氟沙星	/	/	/	/
	培氟沙星	/	/	/	/

注: /表示结果未检出。

2.5 市售鱼虾中喹诺酮类抗生素风险暴露评估

暴露评估是量化食品中抗生素残留风险的关键环节。在常规暴露情景下,以实验所得市售检出鱼虾中喹诺酮类抗生素残留量的平均值计算,各性别/年龄组的总喹诺酮类抗生素 IFS 范围处于 0.040 至 0.067 之间;在最坏暴露情境下,基于实验获得的市售检出鱼虾中喹诺酮类抗生素残留量最大值计算,各性别/年龄组的总喹诺酮类抗生素 IFS 范围则在 0.170 至 0.283 之间(图 1)。

当食品安全指数 IFS 的数值小于 1 时,表示该类喹诺酮类抗生素在鱼虾水产品中的残留量处于较低水平,对人体健康产生影响较轻微,相应的风险处于可接受范围之内。并且 IFS 的数值越小,所表征的潜在风险程度就越低,表明该水产品的安全性越高。反之,若 IFS 大于 1,则说明该类喹诺酮类抗生素的残留情况可能对人体健康造成影响,此时所伴随的风险是不可接受的。IFS 的数值越大,风险程度就越高,需要及时启动风险控制程序,降低其残留量,从而保障消费者食用水产品的安全性^[18]。

在本次检测的喹诺酮类抗生素中, 恩诺沙星的检出率最高。在常规暴露与最坏暴露情况下, 其食品安全指数在总食品安全指数中的占比分别为 80.2%和 16.4%。氧氟沙星仅检出 1 件, 在常规暴露与最坏暴露情况下, 其食品安全指数在总食品安全指数中的占比分别为 19.4%和 82.1%。经评估, 北京市市售水产品中喹诺酮类抗生素残留, 在各性别/年龄组的 IFS 值均远小于 1, 表明潜在风险程度很低, 当前北京市居民因食用鱼虾类水产品而接触喹诺酮类抗生素的风险处于较低水平。

3 讨 论

3.1 市售淡水鱼虾中喹诺酮类抗生素的来源及变化

目前水产集约化养殖模式较为普遍, 加之近年来种质退化, 导致鱼虾类对疾病的易感性显著上升。喹诺酮类抗生素凭借其广谱抗菌特性以及高效性, 成为控制水产养殖细菌感染的重要手段。市售鱼虾可能在养殖过程中因环境污染或用药管理不当而暴露于喹诺酮类抗生素环境中, 导致多种抗生素残留的复合污染现象。在实际应用中, 主要通过口服给药途径, 将药物与饲料混合后投喂使用^[1-3, 21-22]。

恩诺沙星是本次研究中检出率最高的喹诺酮类抗生素, 其普遍性可从多个角度进行分析。首先, 从养殖的角度来看, 恩诺沙星在饲料中的使用因养殖种类、地域分布及养殖模式而有所差异。广州某典型淡水养殖区^[23]以及中国东部淡水养殖区^[24], 恩诺沙星均被广泛添加于饲料中, 作为主要的抗生素成分之一, 与本研究的检测结果契合, 进一步印证了恩诺沙星在养殖业中的普遍应用。其次, 与其他养殖水产品(如龟类、蟹类、蛙类等)相比, 恩诺沙星在鱼虾养殖中的使用更为广泛, 这种差异直接导致了其在鱼虾产品中的残留概率及浓度相对较高^[6-7, 25]。此外喹诺酮类抗生素的残留水平呈现明显的季节性变化, 7—9 月期间恩诺沙星的残留水平显著高于其他月份, 而 4 月的平均检出浓度与 1—3 月相比也有显著差异^[4]。本次研究在 6—7 月进行采样, 正值初夏气温快速上升期, 此阶段水产养殖病害防控压力显著增加, 可能导致喹诺酮类抗生素使用频率相应升高。综上所述, 恩诺沙星的高检出率可归因于其在鱼虾养殖中的广泛应用、饲料中的普遍添加以及采样时间与抗生素使用高峰期的重合, 这些因素共同作用下使得恩诺沙星成为本次研究中检出率最高的喹诺酮类抗生素。

3.2 喹诺酮类抗生素鱼类分布特征分析

从环境因素看, 喹诺酮类抗生素因其特殊的理化性质, 极易被养殖水体中的悬浮颗粒物吸附, 并随沉降作用在池塘底部积累^[26]。从鱼类生物学特性及养殖模式分析, 鲫鱼、鲤鱼属于底栖鱼类, 其摄食行为主要发生在水体底层, 且在实际养殖过程中常采用混养模式, 这使得它们更易受到沉积于池底的喹诺酮类抗生素影响。草鱼主要活动于水体中下层, 对细菌性败血症等病害有高度易感性, 预防治疗用药频次高于其他鲤科鱼类, 这可能是其体内喹诺

酮类抗生素检出率较高的重要原因^[27-31]。研究表明, 掠食性底栖鱼类, 特别是鲈鱼和黑鱼体内抗生素残留水平高于杂食性及草食性鱼类, 其幼年期以浮游动物为食源, 成年后则主要捕食贝类和小型鱼类, 这种复杂的食物链关系和鱼类的摄食习性, 导致喹诺酮类抗生素在食物链传递过程中产生明显的生物放大效应^[14], 且由于黑鱼较高的经济价值, 养殖户倾向于更为频繁的预防性用药, 以降低养殖风险。综上可能是鲈鱼、草鱼、鲤鱼及黑鱼在本次研究中检出率和超标率相对较高的关键因素。

3.3 北京市售鱼虾中喹诺酮类抗生素残留结果与其他地区研究对比分析

本次北京市售淡水鱼虾中喹诺酮类抗生素的总检出率为 26.67%, 其中恩诺沙星、环丙沙星和氧氟沙星的检出率分别为 26.67%、6.67%和 1.11%, 恩诺沙星的平均残留浓度为 47.58 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。中国东南部地区 8 种淡水鱼中恩诺沙星的检出率和平均残留浓度分别为 68.7%和 62.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ^[32], 上海市淡水产品中的喹诺酮类抗生素残留水平(42.3%)高于畜禽类产品(2.9%), 5 种淡水鱼和虾的检出率分别为 58.5%和 16.7%, 其中恩诺沙星检出率分别为 50.9%和 16.7%^[33], 福建省 10 种淡水鱼恩诺沙星、环丙沙星和氧氟沙星的检出率分别为 50.4%、20%和 0.9%^[19]。各地区检出结果均以恩诺沙星和环丙沙星为主, 与本次研究结果相似。

尽管北京市售淡水鱼虾喹诺酮类抗生素残留水平较低, 但其潜在的健康风险仍需关注。长期低剂量暴露可能导致抗生素耐药性的发展, 甚至通过食物链影响人类健康^[34]。因此, 建议在现有监管基础上, 进一步加强对喹诺酮类抗生素的合规使用限制和残留监测, 未来在养殖环节中推广替代性治疗方案(如益生菌、疫苗等), 以减少对抗生素的依赖^[35]。

4 结 论

本研究对北京市售 13 种鱼和虾中的 6 种喹诺酮类抗生素进行残留量分析及摄入风险暴露评估, 检出结果以恩诺沙星、环丙沙星为主, 培氟沙星、氧氟沙星有少量检出, 诺氟沙星、洛美沙星未检出。鉴于样本量有限, 研究存在局限性, 后续可通过多季节、多样点、多品种采样增强数据代表性。综合数据显示, 目前北京市市售鱼虾中的 6 种喹诺酮类抗生素对人体暴露风险较低, 在合理摄入鱼虾水产品前提下处于相对安全水平, 居民可放心食用。建议合理安排膳食, 避免长期食用单一种类鱼虾产品, 以获取多样氨基酸和脂肪酸。同时, 监管部门仍需持续关注市售水产品中喹诺酮类抗生素残留问题, 防范食品安全隐患。

参考文献

- [1] FORE M, ALVER MO, ALFREDSSEN JA, *et al.* Digital twins in intensive aquaculture challenges, opportunities and future prospects [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2024, 218: 108676.
- [2] CHEN JM, SUN RX, PAN CG, *et al.* Antibiotics and food safety in aquaculture [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(43): 11908-11919.

- [3] LIU Y, DENG Y, LI S, *et al.* Monitoring and detection of antibiotic residues in animal derived foods: Solutions using aptamers [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2022, 125: 200–235.
- [4] SHEN HT, PAN XD, HAN JL. Comprehensive analysis and probabilistic health risk assessment of antimicrobial residues in farmed shrimp from southeast China [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2024, 135: 106598.
- [5] ZENG ZL, DONG AG, YANG GX, *et al.* Simultaneous determination of nine fluoroquinolones in egg white and egg yolk by liquid chromatography with fluorescence detection [J]. *Journal of Chromatography B*, 2005, 821(2): 202–209.
- [6] HU HM, QI MY, HE PF, *et al.* Occurrence and risk assessment of quinolones and sulfonamides in freshwater aquaculture ponds in Northeast Zhejiang, China [J]. *Science of The Total Environment*, 2024, 953: 176066.
- [7] ZHANG CY, WANG HJ, MU YC, *et al.* A method for simultaneously and accurately quantify seven quinolones in matrix reference materials by HPLC-MS [J]. *Microchemical Journal*, 2024, 204: 110984.
- [8] GAO LH, SHI YL, LI WH, *et al.* Occurrence, distribution and bioaccumulation of antibiotics in the Haihe River in China [J]. *Journal of Environmental Monitoring*, 2012, 14(4): 1247–1254.
- [9] XIE ZX, LU GH, YAN ZH, *et al.* Bioaccumulation and trophic transfer of pharmaceuticals in food webs from a large freshwater lake [J]. *Environmental Pollution*, 2017, 222: 356–366.
- [10] 黎俊, 张菊平, 顾丽群, 等. 贵州省毕节市禽蛋产品中喹诺酮类药物残留监测及风险评估[J]. *畜牧与饲料科学*, 2024, 45(1): 57–62.
- LI J, ZHANG JP, GU LQ, *et al.* Monitoring and risk assessment of quinolone residues in poultry egg products in Bijie City, Guizhou Province [J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2024, 45(1): 57–62.
- [11] 郭海霞, 张禧庆, 王明林, 等. 食品安全指数法评估山东省猪肉中兽药残留风险[J]. *现代预防医学*, 2019, 46(7): 1194–1198.
- GUO HX, ZHANG XQ, WANG ML, *et al.* Risk estimate of pork based on food safety indexes, Shandong [J]. *Modern Preventive Medicine*, 2019, 46(7): 1194–1198.
- [12] 梁晓涵, 林敏, 万娜, 等. 基于食品安全指数法和危害物风险系数法评估海南芹菜的农药残留风险[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(1): 112–121.
- LIANG XH, LIN M, WAN N, *et al.* Risk assessment of pesticide residues in celery in Hainan based on food safety index and hazard risk coefficient method [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2023, 14(1): 112–121.
- [13] 王勇跃, 吕恭进, 陈高尚, 等. 2021—2024年金华市市售养殖水产品中13种兽药残留状况及膳食暴露风险评估[J]. *环境与健康杂志*, 2025, 42(5): 383–386.
- WANG YY, LV GJ, CHEN GS, *et al.* Residual status and dietary exposure risk of 13 veterinary drugs in farmed aquatic products sold in Jinhua city from 2021 to 2024 [J]. *Journal of Environment and Health*, 2025, 42(5): 383–386.
- [14] BAO R, YANG Y, CHEN HJ, *et al.* Occurrence, distribution and health risk assessment of quinolone residues in cultured fish in southeast China [J]. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 2024, 59(11): 714–724.
- [15] 杨永涛, 何秀婷, 聂湘平, 等. 广州地区淡水鱼体内喹诺酮类药物残留调查[J]. *环境与健康杂志*, 2009, 26(2): 109–111.
- YANG YT, HE XT, NIE XP, *et al.* Preliminary investigation of three quinolones in the muscle tissues of four fishes collected from the markets in Guangzhou City [J]. *Journal of Environment and Health*, 2009, 26(2): 109–111.
- [16] WANG XL, JIAO YN, WANG GL, *et al.* Occurrence of quinolones in cultured fish from Shandong Province, China and their health risk assessment [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2022, 180: 113777.
- [17] ZUO XL, HAN AY. The residues and risk assessment of sulfonamides in animal products [J]. *Journal of Food Quality*, 2021, 2021(1): 5597755.
- [18] 吴永宁, 赵云峰, 李敬光. 第五次中国总膳食研究[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- WU YN, ZHAO YF, LI JG. The fifth China total diet study [M]. Beijing: China Science Publishing, 2018.
- [19] HUA YY, YAO QH, LIN J, *et al.* Comprehensive survey and health risk assessment of antibiotic residues in freshwater fish in southeast China [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2022, 114: 104821.
- [20] MELLO FV, CUNHA SC, FOGACA FHS, *et al.* Occurrence of pharmaceuticals in seafood from two Brazilian coastal areas: Implication for human risk assessment [J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 803: 149744.
- [21] FARUK MAR, SHORNA HK, ANKA IZ. Use and impact of veterinary drugs, antimicrobials, and supplements in fish health management [J]. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 2021, 8(1): 36–43.
- [22] HUANG LL, MO YM, WU ZQ, *et al.* Occurrence, distribution, and health risk assessment of quinolone antibiotics in water, sediment, and fish species of Qingshitan reservoir, South China [J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 15777.
- [23] LI JY, WEN J, CHEN YQ, *et al.* Antibiotics in cultured freshwater products in Eastern China: Occurrence, human health risks, sources, and bioaccumulation potential [J]. *Chemosphere*, 2021, 264: 128441.
- [24] HAN QF, ZHAO S, ZHANG XR, *et al.* Distribution, combined pollution and risk assessment of antibiotics in typical marine aquaculture farms surrounding the Yellow Sea, North China [J]. *Environment International*, 2020, 138: 105551.
- [25] 贝亦江, 周钦, 周以琳, 等. 2018—2019年浙江省养殖水产品中6种喹诺酮类药物残留分析及风险评估[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(5): 2011–2017.
- BEI YJ, ZHOU Q, ZHOU YL, *et al.* Analysis and risk assessment of 6 quinolones residues in aquatic products in Zhejiang Province from 2018 to 2019 [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2021, 12(5): 2011–2017.
- [26] LIU SS, ZHAO HX, LEHMLER HJ, *et al.* Antibiotic pollution in marine food webs in Laizhou Bay, North China: Trophodynamics and human exposure implication [J]. *Environmental Science and Technology*, 2018, 51(4): 2392–2400.
- [27] SHARMA KR, LEUNG PS, CHEN HL, *et al.* Economic efficiency and optimum stocking densities in fish polyculture: An application of data envelopment analysis (DEA) to Chinese fish farms [J]. *Aquaculture*, 1999, 180(3): 207–221.
- [28] HE XT, DENG MC, WANG Q, *et al.* Residues and health risk assessment of quinolones and sulfonamides in cultured fish from Pearl River Delta, China [J]. *Aquaculture*, 2016, 458: 38–46.
- [29] 胡涛. 黄河三角洲水陆生境抗生素的生物积累与食物链传递[D]. 青岛: 山东大学, 2023.
- HU T. Bioaccumulation and trophic transfer of antibiotics in aquatic and terrestrial habitats in the Yellow River Delta [D]. Qindao: Shandong University, 2023.
- [30] CHEN LL, LI HP, LIU Y, *et al.* Occurrence and human health risks of twenty-eight common antibiotics in wild freshwater products from the Xiangjiang River and comparison with the farmed samples from local markets [J]. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 2020, 37(5): 770–782.
- [31] 颜其贵, 刘菲, 余树明, 等. 草鱼细菌性败血症疫苗的研究[J]. *四川农业大学学报*, 2001, 19(3): 269–271.
- YAN QG, LIU F, YU SM, *et al.* Evaluation of aeromonas hydrophila vaccine [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2001, 19(3): 269–271.
- [32] SHAO GJ, PAN XD, HAN JL. Antibiotic residues in commercial freshwater fish from Southeast China: Distribution and human healthy risk assessment [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2024, 31(16): 23780–23789.
- [33] WANG HX, REN LS, YU X, *et al.* Antibiotic residues in meat, milk and aquatic products in Shanghai and human exposure assessment [J]. *Food Control*, 2017, 80: 217–225.
- [34] BENGTTSSON PJ, KRISTIANSSON E, LARSSON DGJ. Environmental factors influencing the development and spread of antibiotic resistance [J]. *FEMS Microbiology Reviews*, 2018, 42(1): fux053.
- [35] BONDAD RMG, MACKINNON B, KARUNASAGAR I, *et al.* Review of alternatives to antibiotic use in aquaculture [J]. *Reviews in Aquaculture*, 2023, 15(4): 1421–1451.

(责任编辑: 韩晓红 安香玉)