DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260416004
引用格式: 黄雪玲, 张玉平, 陈琳. 2023—2025 年华东地区某市养殖水产品中喹诺酮类抗生素残留分析及膳食风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(11): 112–119.
HUANG XL, ZHANG YP, CHEN L. Residual analysis and dietary risk assessment of quinolone antibiotics in aquaculture products from a city in East China, 2023—2025 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(11): 112–119. (in Chinese with English abstract).

2023—2025 年华东地区某市养殖水产品中喹诺酮类抗生素残留分析及膳食风险评估

黄雪玲*, 张玉平, 陈　琳
(上海市水产研究所上海市水产技术推广站, 上海　200433)

摘　要: 目的　调查华东地区某市养殖水产品中喹诺酮类抗生素的残留水平并评估其通过膳食摄入对各年龄人群的健康风险。**方法**　2023—2025 年在该市养殖场随机采集水产品 768 件, 采用液相色谱-串联质谱法检测恩诺沙星、环丙沙星、氧氟沙星等 6 种喹诺酮类抗生素残留。用点评估法, 计算不同年龄段人群的每日暴露剂量, 并通过危害熵法进行膳食风险评估。**结果**　共检出恩诺沙星、环丙沙星和氧氟沙星 3 种抗生素, 总体检出率为 20.44%, 超标率为 1.69%。恩诺沙星检出率最高(19.01%), 残留浓度范围为 1.03~1177.00 μg/kg。膳食风险评估显示, 在平均及最大残留浓度暴露情景下, 各年龄段人群的危害熵值均小于 1。**结论**　该市养殖水产品中喹诺酮类抗生素残留对各年龄段人群构成的膳食风险较低, 但仍需持续加强养殖环节用药监管, 保证居民膳食风险在可接受水平。

关键词: 养殖水产品; 喹诺酮; 抗生素; 膳食风险评估

Residual analysis and dietary risk assessment of quinolone antibiotics in aquaculture products from a city in East China, 2023—2025

HUANG Xue-Ling*, ZHANG Yu-Ping, CHEN Lin
(*Shanghai Fisheries Research Institute*, *Shanghai Fisheries Technical Extension Station*, *Shanghai* 200433, *China*)

ABSTRACT: Objective　To investigate the residual levels of quinolone antibiotics in aquaculture products from a city in East China and assess their health risks to residents via dietary intake. **Methods**　From 2023 to 2025, a total of 768 aquaculture products were randomly collected from aquaculture farms of the city. The residues of 6 kinds of quinolone antibiotics, including enrofloxacin, ciprofloxacin and ofloxacin, *etc*, were determined by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. A point assessment model was employed to estimate the daily exposure doses for different age groups, and the hazard quotient method was applied for dietary risks. **Results**　The 3 kinds of antibiotics were detected, including enrofloxacin, ciprofloxacin and ofloxacin, with an overall detection rate of

收稿日期: 2026-04-16
基金项目: 国家重点研发计划项目(2024YFD2402200)
第一作者/*通信作者: 黄雪玲(1981—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为渔业环境与水产品质量安全监测。E-mail: butterfly032008@163.com

20.44% and an exceedance rate of 1.69%. Enrofloxacin showed the highest rate (19.01%), with residue concentrations ranging from 1.03 μg/kg to 1177.00 μg/kg. Dietary risk assessment indicated that under both average and maximum residue concentration exposure scenarios, the hazard quotients for all age groups were below 1. **Conclusion** The dietary health risks posed by quinolone antibiotic residues in aquaculture products from the city to various age groups are low. However, continuous efforts should be made to strengthen the supervision of drug use during aquaculture practices, so as to ensure that the dietary risks to residents remain at acceptable levels.

KEY WORDS: aquaculture products; quinolone; antibiotic; dietary risk assessment

0　引　言

喹诺酮类抗生素作为一类广谱高效的人工合成抗菌药物[1–2], 因其抗菌能力强、安全性高、降解快、毒副作用低、价格低廉等特性[3–6], 被广泛应用于水产养殖行业[7–11]。但喹诺酮类抗生素的不规范使用, 如超剂量用药、忽视休药期等, 导致药物在水产品中残留, 并通过食物链传递, 最终进入人体[12–13], 引发细菌耐药性增强[14]、过敏反应[15]以及潜在的肝肾功能损伤等健康风险[16–19]。对养殖源头进行有效的药物残留监控, 是保障水产品质量安全、阻断风险食品流入市场的第一道防线。

我国是水产品生产和消费大国, 2024 年我国水产品总产量达 7357.6 万吨, 其中养殖水产品产量 6060 万吨, 较 2023 年增长 6.59%[20]。尽管我国农业农村部 2015 年发布了 2292 号公告, 规定在食品动物中停止使用洛美沙星、培氟沙星、氧氟沙星和诺氟沙星 4 种喹诺酮类抗生素, 2019 年制定了 GB 31650—2019《食品安全国家标准 食品中兽药最大残留量》等强制性标准, 但由于养殖主体分散、用药记录不完善、部分养殖户安全用药意识薄弱等原因导致抗生素残留超标风险依然存在[21–22]。目前有关水产品中喹诺酮类抗生素残留的研究多集中在市售环节[23–28], 针对养殖环节的药物残留监测与风险评估研究相对缺乏。养殖环节是抗生素残留的源头, 在源头及早发现问题, 可以有效阻止违规用药、未遵守休药期等问题的水产品流入市场, 是保护公众健康的首要防线。基于此, 本研究通过对华东地区某市养殖环节水产品的持续监测, 分析了喹诺酮类抗生素的分布特征, 并评估其膳食风险, 以期为相关部门制定养殖环节兽药使用规范、实施差异化监管提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　样品采集与制备

2023—2025 年于华东地区某市主要养殖区的养殖场随机采集养殖水产品 768 件, 包含鲫鱼、鳊鱼、鲈鱼、草鱼、鲢鱼、鳙鱼等养殖淡水鱼品种, 南美白对虾、罗氏沼虾、中华绒螯蟹等常见虾蟹类品种。样品采集按照 GB/T 30891—2014《水产品抽样规范》采集, 样品制备根据 SC/T 3016—2004《水产品抽样方法》附录 C 的要求进行制备。

1.2　仪器与试剂

LC-40D 液相色谱仪[岛津企业管理(中国)有限公司]; Triple Quad 6500 质谱仪(美国 AB Sciex 公司); Centrifuge 5810R 冷冻离心机(德国 Eppendorf 公司); B-300 Base 旋转蒸发仪(瑞士 BUSHI 公司); N-EVAP 112 氮吹仪(美国 Organomation 公司); IKA MS3 Basic 旋涡混合器(德国 IKA 公司); Hypersil GOLDTM C_{18} 柱(100 mm×2.1 mm, 3 μm, 美国 Thermo Fisher Scientific 公司); METTLER XS105 分析天平(精度十万分之一)、METTLER PL202-L 分析天平(精度百分之一)(美国 Mettler Toledo 公司)。

恩诺沙星(纯度 99.24%)、环丙沙星(纯度 99.28%)、洛美沙星(纯度 99.12%)、培氟沙星(纯度 92.19%)、氧氟沙星(纯度 96.02%)、诺氟沙星(纯度 94.58%)、恩诺沙星-D5(纯度 96.97%)、环丙沙星-D8(纯度 88.82%)、诺氟沙星-D5(纯度 94.27%)(德国 Dr. Ehrenstorfer GmbH 公司); 甲醇、乙腈、正己烷(色谱纯, 德国 Merck 公司); 甲酸(色谱纯, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司); 无水硫酸钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

1.3　检测方法及仪器条件

样品前处理参照农业部 1077 号公告-1-2008《水产品中 17 种磺胺类及 15 种喹诺酮类药物残留量的测定 液相色谱-串联质谱法》进行, 称取均质后的样品(5.00±0.02) g, 加入 0.05 μg 内标和 10 g 无水硫酸钠及 20 mL 酸化乙腈, 经涡旋、超声提取、离心后取上清液于梨形瓶中, 再加入 20 mL 酸化乙腈重复提取一次, 合并上清液, 40 ℃水浴旋蒸至近干, 用 1.0 mL 20%甲醇溶液溶解残留物并加入 2 mL 正己烷去脂, 4000 r/min 离心 5 min, 取下层清液过 0.22 μm 滤膜, 供液相色谱-串联质谱仪测定。

色谱条件: Hypersil GOLDTM C_{18} 柱(100 mm×2.1 mm, 3 μm); 柱温 40 ℃, 进样量 10 μL; 流速 0.3 mL/min; 流动相梯度洗脱程序: 流动相 A 为甲醇; 流动相 B 为 0.1%甲酸水溶液; 梯度洗脱程序: 0.01 min, 95% B; 0.01~0.20 min, 95%~50% B; 0.20~4.00 min, 50% B; 4.00~4.50 min, 50%~95% B; 4.50~7.00 min, 95% B。

质谱条件: 电喷雾正离子源模式(electrospray

ionization, ESI$^+$); 电喷雾电压: 5500 V; 离子源温度: 500 ℃; 雾化气(ion source gas 1, GS1): 55.0 psi; 辅助气(ion source gas 2, GS2): 50 psi; 气帘气(curtain gas, CUR): 20 psi; 扫描模式为多反应监测模式。质谱条件参数见表 1。

表 1 6 种喹诺酮类抗生素的质谱参数

Table 1 Mass spectrometric parameters of the 6 kinds of quinolone antibiotics

抗生素	保留时间/min	定性离子对(*m*/*z*)	定量离子对(*m*/*z*)	去簇电压/V	碰撞能/V
恩诺沙星	2.69	360.1/245.0	360.1/316.1	87	38.0/27.0
环丙沙星	2.67	332.0/314.0	332.0/288.0	91	30.0/27.0
洛美沙星	2.68	352.2/265.2	352.2/308.2	90	33.0/25.0
培氟沙星	2.67	334.1/316.3	334.1/290.2	70	28.0/24.0
氧氟沙星	2.67	362.2/261.2	362.2/318.2	80	36.0/26.0
诺氟沙星	2.66	320.1/233.2	320.1/276.1	60	30.0/26.0
恩诺沙星-D5	2.68	365.0/321.0	/	95	27.9
环丙沙星-D8	2.66	340.0/296.0	/	83	30.2
诺氟沙星-D5	2.65	325.1/281.2	/	60	22.0

注: /表示无此项。

1.4 风险评估方法

本次评估参照联合国粮农组织/世界卫生组织联合发布的《食品中化学物风险评估的原则和方法》中的点评估法, 根据所测的水产品中喹诺酮类抗生素残留量和居民日消费量计算抗生素的每日暴露剂量, 每日暴露量计算如公式(1)所示:

$$\mathrm{EDI}=\frac{C\times F}{\mathrm{BW}\times 1000} \tag{1}$$

式中: EDI 为人单位体重每日经水产品摄入喹诺酮类抗生素的量(estimated daily intake), μg/(kg • bw • d); C为水产品中喹诺酮类抗生素残留的含量, μg/kg; F 为水产品的日摄入量, g/d; BW 为人体平均体重(body weight), kg。

用危害熵(hazard quotient, HQ)评估食用水产品中喹诺酮类药物暴露风险, 计算如公式(2)所示:

$$\mathrm{HQ}=\frac{\mathrm{EDI}}{\mathrm{ADI}} \tag{2}$$

式中: ADI 为喹诺酮类抗生素每日允许摄入量(acceptable daily intake), μg/(kg • BW • d)。

当 HQ≤1 时, 表示风险可接受, 人群实际摄入剂量低于安全阈值, 不会对健康造成不良影响; 当 HQ>1 表示风险不可接受, 摄入剂量超出安全范围, 可能存在健康危害。

根据 GB 31650—2019 和 GB 31650.1—2022《食品安全国家标准 食品中 41 种食药最大残留限量》规定, 恩诺沙星(以恩诺沙星与环丙沙星之和计)、氧氟沙星、诺氟沙星和洛美沙星的 ADI 分别为 6.2、5、14、25 μg/(kg • BW • d), 培氟沙星没有规定, 不予评价。

1.5 数据处理

对于未检出的数据, 若未检出数据的比例大于 60%时, 未检出数据用检出限代替, 当未检出数据的比例小于 60%时, 未检出数值用检出限的 1/2 代替[29–30], 实验数据用 Excel 2016 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 质量控制

本研究采用内标法进行定量分析。在空白基质中分别加入 1、10、20 μg/kg 的喹诺酮药物, 计算其平均回收率和相对标准偏差, 结果表明 6 种抗生素的方法曲线线性关系良好, 相关系数均在 0.994 以上, 回收率在 76.5%~112.1%, 相对标准偏差在 0.2%~8.2%, 符合农业部 1077 号公告-1-2008》要求。具体见表 2。分析样品时, 每 20 个样品做一个平行盲样、一个方法空白试验、一个加标质控样品, 以确保样品检测的稳定性和准确性。

表 2 6 种喹诺酮类抗生素的回归方程、加标回收率、检出限及定量限(n=6)

Table 2 Regression equations, spiked recovery rates, limits of detection and limits of quantitation of 6 kinds of quinolone antibiotics (n=6)

抗生素	回归方程	相关系数(r)	回收率/%	相对标准偏差/%	检出限/(μg/kg)	定量限/(μg/kg)
恩诺沙星	Y=15.61448X–0.49435	0.99819	86.9~104.9	1.1~7.7	1.0	2.0
环丙沙星	Y=8.60219X–0.33033	0.99685	94.8~112.1	2.6~8.2	1.0	2.0
氧氟沙星	Y=42.31197X–1.20558	0.99640	76.5~107.9	3.1~6.9	1.0	2.0
诺氟沙星	Y=11.58368X–0.60831	0.99486	94.8~112.0	3.0~8.2	1.0	2.0
培氟沙星	Y=20.17871X–0.65138	0.99464	87.6~97.2	1.4~8.1	1.0	2.0
洛美沙星	Y=53.28395X–0.88815	0.99447	82.3~97.9	0.2~6.7	1.0	2.0

2.2　整体监测情况

采用上述检测方法对 768 件养殖环节水产品进行喹诺酮类抗生素残留的监测, 恩诺沙星、环丙沙星和氧氟沙星等 3 种抗生素有不同程度的检出。诺氟沙星、培氟沙星和洛美沙星在所有样品中均未检出。

从检出情况看, 共有 157 件样品检出至少 1 种喹诺酮类抗生素, 总检出率为 20.44%。其中恩诺沙星检出最多, 共有 146 件检出, 检出率为 19.01%, 残留浓度范围为 1.03~1177.00 μg/kg, 浓度在检出限~10 μg/kg 的样品有 73 件, 占检出件数的 50.0%。环丙沙星次之, 共有 47 件样品检出, 检出率为 6.12%, 残留浓度范围为 1.24~57.90 μg/kg, 浓度在检出限~10 μg/kg 的样品有 39 件, 占检出件数的 82.98%。氧氟沙星有 1 件检出, 检出率为 0.13%, 残留量为 4.27 μg/kg。

从超标情况看, 768 件样品中共有 13 件样品超标, 整体超标率为 1.69%, 其中 12 件为恩诺沙星残留超标(根据标准以恩诺沙星和环丙沙星残留量之和计), 残留量浓度最高为 1198.90 μg/kg, 接近最大允许限量值的 12 倍。另有 1 件为氧氟沙星残留超标, 虽然检出浓度不高, 却是禁用药物, 不得检出。

2.3　不同品种水产品中喹诺酮类抗生素残留特征分析

不同品种水产品中的喹诺酮类抗生素检出和超标情况见表 3。结果显示, 21 个品种中有 14 个品种有喹诺酮类药物检出。乌鳢检出率最高(75.00%), 其次为暗纹东方鲀(66.67%)和黄颡鱼(60.00%); 翡翠斑鱼、鲈鱼、鳊鱼、草鱼、翘嘴红鲌检出率介于 42.86%~50.00%; 鲫鱼、青鱼和鲴鱼检出率介于 28.57%~29.73%; 鳙鱼、南美白对虾和罗氏沼虾检出率较低, 分别为 5.26%、3.72%和 2.38%; 鲢鱼、鲤鱼、黄尾鲷、罗非鱼、克氏原螯虾、红螯螯虾及中华绒螯蟹均未检出。

表 3　不同品种水产品的喹诺酮类抗生素检出情况

Table 3　Detection of quinolone antibiotics in different varieties of aquaculture products

品种	检测数量	检出数量	检出率/%	检出范围/(μg/kg)			超标数量	超标率/%
				恩诺沙星	环丙沙星	氧氟沙星		
鲫鱼	111	33	29.73	1.66~372.00	2.02~21.70	ND	4	3.60
鳊鱼	88	38	43.18	2.47~114.00	1.82~7.44	ND	2	2.27
鲈鱼	56	27	48.21	1.38~1177.00	2.51~57.90	ND	5	8.93
草鱼	65	28	43.08	1.65~465.00	ND	ND	1	1.54
鲢鱼	29	0	0.00	ND	ND	ND	0	0
鳙鱼	38	2	5.26	14.40	1.72	ND	0	0
青鱼	14	4	28.57	3.55~12.60	ND	ND	0	0
鲤鱼	9	0	0.00	ND	ND	ND	0	0
翘嘴红鲌	7	3	42.86	4.17~9.11	ND	ND	0	0
乌鳢	8	6	75.00	2.68~60.70	1.24~4.64	ND	0	0
暗纹东方鲀	3	2	66.67	4.71~6.01	ND	ND	0	0
黄颡鱼	5	3	60.00	5.11~8.19	7.83	ND	0	0
黄尾鲷	1	0	0.00	ND	ND	ND	0	0
罗非鱼	1	0	0.00	ND	ND	ND	0	0
鲴鱼	7	2	28.57	3.23	2.26~3.01	ND	0	0
翡翠斑鱼	2	1	50.00	4.23	ND	ND	0	0
南美白对虾	188	7	3.72	2.14~32.10	ND	ND	0	0
罗氏沼虾	42	1	2.38	ND	ND	4.27	1	2.38
克氏原螯虾	6	0	0.00	ND	ND	ND	0	0
红螯螯虾	1	0	0.00	ND	ND	ND	0	0
中华绒螯蟹	87	0	0.00	ND	ND	ND	0	0

注: ND 表示未检出。黄尾鲷、罗非鱼、翡翠斑鱼、红螯螯虾等样本量较小, 统计结果仅作趋势性参考。

不同生态习性和养殖模式可能是导致抗生素残留水平差异的主要原因。从生态习性看，乌鳢、黄颡鱼、鲈鱼等肉食性鱼类，在食物链中处于较高位置，抗生素易在体内富集，并且会主动摄入人工饲料，因此检出率高。而鲢鱼、鳙鱼等滤食性鱼类，处于食物链底层，通过腮耙滤食浮游生物，不直接摄入含药饲料，主要受水体中药物浓度影响，体内药物富集水平较低，虾蟹等甲壳类水产品虽也摄入人工饲料，但其蜕壳生长的生理特性会促进药物的阶段性排出，因此检出率极低。从养殖模式看，鲫鱼、鳊鱼、草鱼、鲈鱼等普遍采用高密度集约化养殖，易爆发细菌性肠炎、烂鳃病等疾病，养殖户为控制死亡率常使用恩诺沙星等抗生素进行预防和治疗。而南美白对虾、罗氏沼虾和中华绒螯蟹等水产品经济价值高，在养殖过程中水质管理和生态防控更严格，药物使用相对谨慎，因此检出率较低。

2.4 不同类别水产品中喹诺酮类抗生素残留特征分析

不同类别水产品中的喹诺酮类抗生素检出情况见表 4。结果显示 768 件水产品中，鱼类检出率最高(33.56%)，虾类(3.38%)次之，蟹类均未检出。说明不同类别水产品用药习惯或者药物蓄积特性有明显区别，喹诺酮类抗生素的使用在鱼类养殖中相对更为普遍。

从年份分析，鱼类检出率 2024 年下降(19.16%)，但残留平均值(24.38 μg/kg)及最大值(1198.90 μg/kg)却达到峰值，说明尽管检出率降低，但个别样品的违规用药问题依然突出。2025 年，虽然检出率又回升到 41.94%，但残留平均值(9.95 μg/kg)及最大值(123.51 μg/kg)及超标率(0.80%)均大幅下降，表明鱼类中高浓度残留问题得到一定控制，总体残留水平呈现向好趋势。这种“检出率”与“残留水平”变化的不同步，可能存在从显性超标向隐蔽残留转变的趋势。这一趋势变化或与 2025 年农业农村部针对水产养殖违规用药问题开展专项治理行动密切相关。在日趋严格的监管压力下，养殖主体为规避处罚，调整用药策略，从超剂量、高浓度用药转向将残留浓度控制在法定限量值以下的“合规”用药。虾类检出率一直处于低位，但 2025 年出现 1 例禁用药物氧氟沙星超标，说明虾类养殖中该类药物的使用相对规范或代谢较快，但也要注意个别违规行为导致的风险。

2.5 喹诺酮类抗生素的膳食风险评估

本研究中，4~6 岁及 20~79 岁人群的体重数据来源于国家体育总局 2026 年发布的《第六次国民体质监测公报》，7~19 岁体重数据引自教育部 2021 年公布的《第八次全国学生体质与健康调研结果》。水产品每日消费量依据《中国居民膳食指南(2022 版)》中建议的摄入量。

本研究分别采用所测样品的喹诺酮类抗生素的平均残留浓度和最大残留浓度计算各年龄段人群的 EDI 和 HQ，结果见表 5。结果显示，在平均残留浓度暴露情景下，各年龄段人群的 HQ 范围在 0.0001~0.0039，均远低于风险阈值 1，表明在一般消费模式下，通过水产品摄入喹诺酮类抗生素造成的健康风险较低。在最大残留浓度暴露的极端情景下，各年龄段人群的 HQ 范围在 0.0006~0.4147，说明各年龄段人群通过水产品摄入喹诺酮类抗生素风险也处于可接受范围内，但 4~6 岁女童组的 HQ 达到 0.4147，明显高于其他群体。低龄儿童作为敏感人群，由于其体重较轻，在相同消费量下单位体重暴露量相对较高，因此在极端膳食条件下可能承受相对更高的潜在健康压力。

表 4 不同类别水产品的喹诺酮类抗生素检出情况

Table 4 Detection of quinolone antibiotics in different categories of aquaculture products

类别	年份	检测数量	检出数量	检出率/%	恩诺沙星+环丙沙星/(μg/kg)		超标数量	超标率/%
					平均值	最大值		
鱼类	2023	153	65	42.48	18.54	465.00	6	3.92
	2024	167	32	19.16	24.38	1198.90	5	2.99
	2025	124	52	41.94	9.95	123.51	1	0.80
	合计	444	149	33.56	18.34	1198.90	12	2.70
虾类	2023	72	1	1.39	2.01	2.49	0	0
	2024	72	4	5.56	2.45	32.1	0	0
	2025	93	3	3.23	2.01	3.78	1*	1.08
	合计	237	8	3.38	2.14	32.1	1	0.42
蟹类	2023	35	0	0	/	/	0	0
	2024	21	0	0	/	/	0	0
	2025	31	0	0	/	/	0	0
	合计	87	0	0	/	/	0	0

注: /表示未检出; *表示氧氟沙星检出。

表 5　各年龄段人群经水产品中摄入喹诺酮类抗生素的膳食风险评估

Table 5　Dietary risk assessment of quinolone antibiotics intake aquaculture products in different age groups

年龄/岁	性别	平均体重/kg	日消费量/(g/d)	EDI 平均值		EDI 最大值		HQ 平均值		HQ 最大值	
				恩诺沙星	氧氟沙星	恩诺沙星	氧氟沙星	恩诺沙星	氧氟沙星	恩诺沙星	氧氟沙星
4~6	男	20.5	40	0.0223	0.0020	2.3431	0.0083	0.0036	0.0004	0.3779	0.0017
	女	18.7		0.0245	0.0022	2.5714	0.0092	0.0039	0.0004	0.4147	0.0018
7~10	男	32.7	40	0.0140	0.0012	1.4659	0.0052	0.0023	0.0002	0.2364	0.0010
	女	30.7		0.0149	0.0013	1.5616	0.0056	0.0024	0.0003	0.2519	0.0011
11~13	男	48.8	50	0.0117	0.0010	1.2277	0.0044	0.0019	0.0002	0.1980	0.0009
	女	46.2		0.0123	0.0011	1.2969	0.0046	0.0020	0.0002	0.2092	0.0009
14~19	男	63.8	75	0.0134	0.0012	1.4100	0.0050	0.0022	0.0002	0.2274	0.0010
	女	54.2		0.0158	0.0014	1.6589	0.0059	0.0025	0.0003	0.2676	0.0012
20~59	男	73.4	75	0.0117	0.0010	1.2246	0.0044	0.0019	0.0002	0.1975	0.0009
	女	59.6		0.0144	0.0013	1.5087	0.0054	0.0023	0.0003	0.2433	0.0011
60~79	男	67.6	50	0.0084	0.0007	0.8864	0.0032	0.0014	0.0001	0.1430	0.0006
	女	59.4		0.0096	0.0008	1.0092	0.0036	0.0015	0.0002	0.1628	0.0007

综上所述, 本研究认为在当前我国居民普遍的水产品消费水平下, 喹诺酮类抗生素的膳食暴露风险较低。但对低龄儿童群体在极端暴露情况时, 其风险水平需要关注, 应遵循膳食多样化原则, 避免长期单一或过量食用特定水产品, 保障膳食安全。

3　讨论与结论

本研究采集了 2023—2025 年华东地区某市养殖环节水产品共 768 件, 对 6 种喹诺酮类抗生素进行了检测与分析, 总体检出率和超标率分别为 20.44%和 1.69%。低于朱颖等[24]报道的山东山市售淡水鱼虾的检出率(36%)和超标率(3.54%), 低于徐文珍等[31]报道的浙江台州市淡水鱼检出率(59.4%)。从抗生素种类分析, 恩诺沙星检出率 19.01%, 环丙沙星检出率 6.12%, 氧氟沙星检出率 0.13%。洛美沙星、培氟沙星和诺氟沙星没有检出。抗生素检出趋势恩诺沙星>环丙沙星>氧氟沙星, 这与贝亦江等[32]、龙举等[33]报道的水产品中喹诺酮类抗生素的检出趋势相似。从样品类别分析, 鱼类检出率 33.56%, 超标率 2.7%; 虾类检出率 3.38%, 超标率 0.42%; 蟹类没有检出。低于宇盛好等[34]报道的 2023—2024 年上海市市售鱼类中的检出率(45.9%)和超标率(7.5%)。

本研究通过对华东地区某市养殖环节水产品中喹诺酮类抗生素残留水平的分析, 评估了不同年龄段人群经该途径摄入的膳食风险。结果显示, 在平均残留浓度暴露情景下, 各年龄段人群的 HQ 值范围为 0.0001~0.0039; 在以最大残留浓度暴露的极端情景下, HQ 范围为 0.0006~0.4147, 所有 HQ 均低于 1, 表明经该市养殖水产品摄入喹诺酮类抗生素的单一途径风险较低, 对一般人群健康影响的可能性较小, 但对低龄儿童等敏感人群的健康风险影响仍需关注。本研究中, 氧氟沙星检出 1 件, 残留水平为 4.27 μg/kg, 按传统膳食风险评估模型计算 HQ 远小于 1, 属于“可接受风险”。但该物质已被农业农村部第 2292 号公告明确禁止用于食品动物, 其检出本身即构成违法使用行为。对于低浓度的禁用药物, 单纯依赖 HQ 进行风险评估存在评价盲区, 应高度警惕其潜在风险, 加大监管力度。

本研究仍存在一定的局限性, 膳食评估采用了膳食指南中的建议日摄入量及各年龄段的平均体重进行计算, 未能反映个体间消费习惯与生理特征的差异, 可能导致对特定高消费人群或低体重群体的风险低估或高估。其次缺少捕捞产品、畜禽肉、鸡蛋等其他动物源性食品的膳食风险评估, 消费者实际暴露来源于多种食品的叠加。

参考文献

[1] DOUROS A, GRABOWKSI K, STAHLMANN R. Drug–drug interactions and safety of linezolid, tedizolid, and other oxazolidinones [J]. Expert Opinion on Drug Metabolism & Toxicology, 2015, 11(12): 1849–1859.

[2] 徐汇镔, 朱洁, 周朝生, 等. 基于响应面分析的养殖水产品中高风险喹诺酮类抗生素残留及其基质效应研究[J]. 浙江农业学报, 2025, 37(3): 689–700.
XU HB, ZHU J, ZHOU CS, *et al*. Study for the determination of high-risk quinolone antibiotics residues and its matrix effect in cultured aquatic products by UPLC-MS/MS based on response surface analysis [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2025, 37(3): 689–700.

[3] 秦永强, 任小玉, 鞠涵烨, 等. 海水中喹诺酮类抗生素液质联用测定前处理方法的优化[J]. 环境工程学报, 2022, 16(11): 3772–3783.
QIN YQ, REN XY, JU HY, *et al*. Optimization of pre-treatment method for liquid-mass spectrometry of quinolone antibiotics in sea water [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2022, 16(11): 3772–3783.

[4] 王宁, 阿斯喀·夏热甫汉, 李艳美, 等. QuEChERS-高效液相色谱—串联质谱法同时测定动物尿液中14种喹诺酮类和8种糖皮质类兽药残留

[J]. 分析科学学报, 2023, 39(4): 417–423.
WANG N, ASIKA XRFH, LI YM, *et al*. Simultaneous determination of residues of 14 quinolones and 8 glucocorticoids in animal urine by QuEChERS-HPLC-MS/MS [J]. Journal of Analytical Science, 2023, 39(4): 417–423.

[5] CHEN M, ZHAO H, WANG Y, *et al*. Uptake and depuration of eight fluoroquinolones (FQs) in common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019, 180: 202–207.

[6] 杨贤丰, 王波, 张欢, 等. Sin-QuEChERS 净化-超高效液相色谱-串联质谱法测定鱼肉中 8 种喹诺酮类药物残留量[J]. 理化检验(化学分册), 2022, 58(3): 304–311.
YANG XF, WANG B, ZHANG H, *et al*. UHPLC-MS/MS determination of 8 quinolone drugs in fish with sin-QuEChERS purification [J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2022, 58(3): 304–311.

[7] 牛灿杰, 叶素丹, 朱千聪, 等. 金属有机骨架基固相萃取-高效液相色谱法检测水产品中5种氟喹诺酮类药物残留[J]. 食品科学, 2025, 46(3): 222–229.
NIU CJ, YE SD, ZHU QC, *et al*. Determination of five fluoroquinolones in aquatic products by high performance liquid chromatography with solid phase extraction using metal-organic framework as sorbent [J]. Food Science, 2025, 46(3): 222–229.

[8] BAO R, YANG Y, CHEN H, *et al*. Occurrence, distribution and health risk assessment of quinolone residues in cultured fish in southeast China [J]. Journal of Environmental Science & Health, Part B-Pesticides, Food Contaminants, & Agricultural Wastes, 2024, 59(11): 714–724.

[9] HUANG LL, MO YM, WU ZQ, *et al*. Occurrence, distribution, and health risk assessment of quinolone antibiotics in water, sediment, and fish species of Qingshitanreservoir, South China [J]. Scientific Reports, 2020, 10: 15777.

[10] 孟磊, 杨兵, 薛南冬. 氟喹诺酮类抗生素环境行为及其生态毒理研究进展[J]. 生态毒理学报, 2015, 10(2): 76–88.
MENG L, YANG B, XUE ND. A review on environmental behaviors and ecotoxicology of fluoroquinolone antibiotics [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2015, 10(2): 76–88.

[11] LIU Y, AI X, SUN R, *et al*. Residue, biotransformation, risk assessment and withdrawal time of enrofloxacin in red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) [J]. Chemosphere, 2022, 307 (Pt1): 135657.

[12] 李丹, 高阳俊, 耿春女. 食物链途径人体健康风险评估的关键内容探讨[J]. 环境化学, 2015, 34(3): 431–441.
LI D, GAO YJ, GENG CN. Discussions on the human health risk assessment by food-chain exposure pathways [J]. Environmental Chemistry, 2015, 34(3): 431–441.

[13] 李娜. 多氯联苯在水生食物链中的生物毒性及富集效应研究[D]. 广州: 暨南大学, 2012.
LI N. Study on biotoxicity and enrichment effect of polychlorinated biphenyls in aquatic food chain [D]. Guangzhou: Ji'nan University, 2012.

[14] SURYOPRABOWO S, NASYIRUDDIN RL, WANG ZX, *et al*. A comprehensive review on the pretreatment and detection methods of fluoroquinolones in food and environment [J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2025, 140. DOI: 10.1016/j.jfca.2024.107179.

[15] 王雪奇, 张学富, 杨晓磊, 等. 高效液相色谱—串联质谱法测定奶豆腐中 6 种喹诺酮类药物残留研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2023, 35(3): 339–345.
WANG XQ, ZHANG XF, YANG XL, *et al*. The determination of six quinolone drug residues in milk tofu by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2023, 35(3): 339–345.

[16] 张璐, 巩忠福, 张玉洁, 等. 乌鸡中氟喹诺酮类药物残留现状分析[J]. 中国兽药杂志, 2023, 57(10): 79–82.
ZHANG L, GONG ZF, ZHANG YJ, *et al*. Analysis of fluoroquinolone residues status in black-bone fowl [J]. Chinese Journal of Veterinary Drug, 2023, 57(10): 79–82.

[17] LI Z, CUI Z, TANG Y, *et al*. Fluorometric determination of ciprofloxacin using molecularly imprinted polymer and polystyrene microparticles doped with europium(III) $(DBM)_3$phen [J]. Microchimica Acta, 2019, 186(6): 334–344.

[18] ALSHAMMARI TM, LARRAT EP, MORRILL HJ, *et al*. Risk of hepatotoxicity associated with fluoroquinolones: A national case-control safety study [J]. American Journal of Health-System Pharmacy, 2014, 71(1): 37–43.

[19] Commission Regulation (EU)No 37/2010 of 22 December 2009 on Pharmacologically. Active substances and their classification regarding maximum residue limits in foodstuffs of animal origin [J]. European Commission: Brussels, Belgium, 2010.

[20] 国家统计局. 2025 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2025.
National Bureau of Statistics. 2025 China statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2025.

[21] 梁晶晶, 徐潇颖, 丁宇琦, 等. 高效液相色谱-串联质谱法快速测定水产品中 19 种喹诺酮类药物残留[J]. 分析测试学报, 2018, 37(2): 224–230
LIANG JJ, XU XY, DING YQ, *et al*. Determination of 19 quinolone antibacterials residues in aquatic products by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2018, 37(2): 224–230.

[22] 杨晓宇. 2019—2023 年我国淡水鱼中抗生素残留分析及健康风险评估研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2025
YANG XY. Analysis of antibiotic residues and health risk assessment in freshwater fish in China from 2019 to 2023 [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2025

[23] 杨琪, 王娅芳, 李磊, 等. 2019—2023 年贵州省市售动物源性食品中喹诺酮类兽药残留暴露评估[J]. 现代预防医学, 2025, 52(11): 1974–1979.
YANG Q, WANG YF, LI L, *et al*. Exposure assessment of quinolone residues in animal-derived foods sold in Guizhou Province from 2019 to 2023 [J]. Modern Preventive Medicine, 2025, 52(11): 1974–1979.

[24] 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 Y, ZHUANG R, HU J, *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.

[25] 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.

[26] 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 SH, LI YQ, PENG SJ. 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.

[27] 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.

[28] 纪律, 刘晓俊, 万正杨, 等. 2021 年湖北省 4 个城市市售淡水鱼中兽药及非法添加残留监测结果分析[J]. 职业与健康, 2022, 38(23): 3292–3295.
JI L, LIU XJ, WAN ZY, *et al*. Analysis on motoring results of veterinary drugs and illegal additives residues in commercially available freshwater fish in four cities of Hubei Province in 2021 [J]. Occupation and Health, 2022, 38(23): 3292–3295.

[29] 国家食品安全风险评估专家委员会. 食品安全风险评估数据需求及采集要求[Z]. 2023.
National Expert Committee on Food Safety Risk Assessment. Data requirements and collection guidelines for food safety risk assessment [Z]. 2023.

[30] 王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食品污染监测低水平数据处理[J]. 中华预防医学杂志, 2002(4): 63–64.
WANG XQ, WU YN, CHEN JS. Problems with low-level data processing for food contamination monitoring [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2002(4): 63–64.

[31] 徐文珍, 倪承珠, 郝伟, 等. 台州市养殖水产品中喹诺酮类残留分析及评价[J]. 中国卫生检验杂志, 2022, 32(3): 382–385.
XU WZ, NI CZ, HAO W, *et al*. Analysis and evaluation of quinolone residues in aquaculture products in Taizhou [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2022, 32(3): 382–385.

[32] 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.

[33] 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 J, YANG J, MEI GM, *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.

[34] 宇盛好, 李亦奇, 彭少杰. 2023—2024 年上海市市售鱼类中喹诺酮类抗生素残留现状及膳食暴露评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(20): 315–321.
YU SH, LI YQ, PENG SJ. Residue status and dietary exposure assessment of quinolone antibiotics in fish sold in Shanghai from 2023 to 2024 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(20): 315–321.

(责任编辑: 蔡世佳　韩晓红)