

2017—2024 年上海市鲜冻水产动物中喹诺酮类 抗生素残留及成年居民暴露评估

杨京津, 邱丹萍, 蔡华, 臧嘉捷, 陆伟, 刘弘, 罗宝章

上海市疾病预防控制中心(上海市预防医学科学院)健康危害因素监测与控制所/国家卫生健康委员会
食品安全风险评估与标准研制特色实验室, 上海 201107

摘要:目的 了解上海市鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素残留水平,评估上海市成年居民膳食喹诺酮类抗生素的暴露水平及其健康风险。**方法** 2017—2024 年,在上海市养殖、流通、餐饮等环节共采集 8 857 份鲜冻水产动物样品,采用高效液相色谱-质谱/质谱法检测 14 种喹诺酮类抗生素的含量。结合“2023 年上海市成年居民膳食与健康状况监测”消费量数据,采用点评估及概率评估的方法,估算上海市成年居民经鲜冻水产动物摄入喹诺酮类抗生素的健康风险。**结果** 鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素总检出率为 26.40%,总超标率为 4.36%。其中,恩诺沙星(含环丙沙星)检出率和超标率最高,分别为 26.21%和 3.91%,其余喹诺酮类抗生素检出率和超标率均低于 1%。喹诺酮类抗生素总残留量均值最高的前三位为淡水鱼、淡水虾、海水鱼。点评估结果显示,一般暴露人群、高暴露人群喹诺酮类抗生素的食品安全指数均小于 1,健康风险较低。概率评估显示,上海市成年居民经鲜冻水产动物摄入恩诺沙星(含环丙沙星)P50 暴露量为 1.89 ng/(kg·bw·d)、P95 暴露量为 139.00 ng/(kg·bw·d)。**结论** 上海市鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素检出以恩诺沙星(含环丙沙星)为主,且淡水鱼污染较多,但上海市成年居民经鲜冻水产动物摄入喹诺酮类抗生素的健康风险较低。

关键词: 水产动物;喹诺酮类;膳食暴露;风险评估

中图分类号:X820.4 文献标志码:A 文章编号:1003-8507(2026)12-2188-08

DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202512046

Residues of quinolone antibiotics in fresh and frozen aquatic products and exposure assessment among adult residents, Shanghai, 2017 – 2024

YANG Jing-jin, QIU Dan-ping, CAI Hua, ZANG Jia-jie, LU Wei, LIU Hong, LUO Bao-zhang

Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention (Shanghai Academy of Preventive Medicine),
Division of Health Risk Factors Monitoring and Control/NHC Specialty Laboratory of Food Safety Risk Assessment and
Standard Development, Shanghai 201107, China

Abstract: Objective To investigate quinolone antibiotic residues in fresh/frozen aquatic animals in Shanghai and assess dietary intake and health risks for local adults. **Methods** A total of 8 857 samples were collected from breeding, circulation and catering links in Shanghai during 2017 – 2024. Fourteen quinolone antibiotics were detected by high performance liquid chromatography – tandem mass spectrometry. Combined with “2023 Shanghai Residents’ Diet and Health Status Monitoring” data, point and probability estimation were used to evaluate health risks. **Results** The total detection rate of quinolone antibiotics was 26.40% with a total over – limit rate of 4.36%. Enrofloxacin (including ciprofloxacin) had the highest detection rate (26.21%) and over – limit rate (3.91%), while other quinolones had detection and over – limit rates <1%. Top 3 for highest average total quinolone antibiotic residues: freshwater fish, freshwater shrimp, marine fish. Point assessment showed food safety indexes <1 for both general and highly exposed populations, indicating low health risks. Probability assessment revealed P50 and P95 exposure levels of enrofloxacin (including ciprofloxacin) were 1.89 ng/(kg·bw·d) and 139.00 ng/(kg·bw·d), respectively. **Conclusion** Enrofloxacin (including ciprofloxacin) was the main detected quinolone in Shanghai’s fresh/frozen aquatic animals, with freshwater fish more contaminated. However, health risks of quinolone intake via these products for Shanghai adults were relatively low.

基金项目:上海市卫生健康委卫生行业临床研究专项(202340302);2025 年度关键技术研发计划“合成生物学”项目(25HC2820704)

作者简介:杨京津(1990—),女,硕士,主管医师,研究方向:食品安全风险监测与评估

通信作者:罗宝章,Email:luobaozhang@scdc.sh.cn

Keywords: Aquatic animals; Quinolone; Dietary exposure; Risk assessment

过去三十年,中国水产养殖业快速发展,鱼类产量已占全球供应量的三分之一以上^[1]。渔业资源有限,集约化、高密度养殖模式虽能提高产量与利润,却也导致水产动物疾病和死亡率上升。因此,养殖户使用抗生素来预防、治疗疾病以及促进生长。而抗生素的长期、广泛、不规范使用易增加水产动物中抗生素的残留风险,最终通过饮食摄入蓄积在人体中;此外,环境中抗生素通过食物链传递、富集作用重新进入动物和人体,形成恶性循环,对人类健康产生不良影响,例如恶心、呕吐等胃肠道刺激、头晕、头痛、过敏反应以及潜在的特殊毒性风险^[2-3]。

喹诺酮类抗生素因其广谱、强效、使用方便、不良反应少的特点广泛用于水产养殖,尽管 GB 31650 - 2019《食品安全国家标准食品中兽药最大残留限量》对水产动物中部分喹诺酮类抗生素的残留限量作出规定,但此类抗生素在水产动物中检出率仍处于较高

水平^[4-5]。

为了解上海市市售鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素的污染状况及膳食暴露风险,本研究对 2017—2024 年上海市养殖、流通、餐饮等环节共 8 857 件鲜冻水产动物样品中喹诺酮类抗生素的残留状况进行分析,同时评估上海市成年居民经鲜冻水产动物摄入喹诺酮类抗生素的膳食暴露风险,为抗生素污染控制和合理用药指导提供科学依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 样品采集 2017—2024 年,共采集上海市 16 个区市售鲜冻水产动物(包括鲜活、冷鲜、冷冻水产动物)样品共 8 857 份,样品主要来源于流通环节,样品类别包括淡水鱼、虾、蟹、软体动物及少部分海水动物产品(见表 1)。样品采集后取可食部分进行匀浆, -20 ℃ 冷冻保存。

表 1 鲜冻水产动物的样品分布及构成比

Table 1 Distribution and composition ratio of fresh and frozen aquatic products samples

分组	频数	构成比(%)	分组	频数	构成比(%)
年份			食品类别		
2017 年	480	5.42	淡水鱼	3 509	39.61
2018 年	750	8.47	淡水虾	1 975	22.30
2019 年	872	9.85	淡水蟹	1 578	17.82
2020 年	1 336	15.08	软体动物	1 463	16.52
2021 年	1 477	16.68	海水鱼	253	2.86
2022 年	1 254	14.16	海水虾	45	0.51
2023 年	1 484	16.75	海水蟹	34	0.38
2024 年	1 204	13.59	采样环节		
包装类型			流通环节(农贸市场)	4 441	50.14
定型包装	107	1.21	流通环节(商店)	2 764	31.21
散装	8 750	98.79	流通环节(网店)	1 504	16.98
			养殖环节	81	0.91
			餐饮环节	67	0.76

1.2 喹诺酮类抗生素检测 按照《国家食品污染物和有害因素风险监测工作手册》中《动物源性食品中喹诺酮药物残留量测定的标准操作程序》开展样品处理和检测(高效液相色谱-质谱/质谱测定),用阴性样品基质加标外标法定量。检出限为 0.30 μg/kg,定量限为 1.00 μg/kg。检测指标包括恩诺沙星、环丙沙星、氧氟沙星、诺氟沙星、培氟沙星、沙拉沙星、依诺沙星、西诺沙星、达氟沙星、二氟沙星、噁喹酸、氟甲喹、洛美沙星、萘啶酸共 14 种喹诺酮类抗生素。其中,恩诺沙星在人体内会转化为环丙沙星,国标以两者之和制定了残留限量和抗生素每日允许摄入量(Acceptable Daily Intake, ADI),在分析时以两者之和计,以下简称恩诺沙星(含环丙沙星)。

1.3 判定依据 根据 GB 31650 - 2019《食品安全国家标准 食品中兽药最大残留限量》、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》中最大残留限量开展超标判定。此外,依诺沙星、西诺沙星、萘啶酸尚无相关残留限量标准,不做超标判定。总检出率 = 喹诺酮类抗生素检出总件数/水产动物样品总数;按照抗生素种类、水产类别、环节、包装类型分组分析时,检出率 = 每组检出件数/每组样品件数。

1.4 食物消费量数据 本次评估采用的食物消费量数据来自“2023 年上海市成年居民膳食与健康状况监测”的食物频率表,成年居民膳食调查均以街道/乡镇为基本抽样单元,根据非农业人口和外来人口比例

按城乡[城市中心区(非农人口>70%且外来人口≤35%)、城郊结合区(非农人口>70%且外来人口>35%)、远郊地区(非农人口≤70%)]、年龄(18~44岁、45~59岁、60岁及以上)、性别分层,采用多阶段分层随机抽样方法进行抽样,采用相同的食物频率问卷开展调查,获得有效样本2 920份。

1.5 膳食暴露评估方法 采用联合国粮农组织/世界卫生组织《食品中化学物风险评估的原则和方法》中的评估模型,根据所检测鲜冻水产动物中抗生素残留量和居民消费量计算得到每日抗生素的膳食暴露量。

膳食暴露量(Estimated Daily Intake, EDI)计算公式如下:

$$EDI = \frac{\sum C_i \cdot R_i}{BW}$$

式中,EDI为每日抗生素的膳食暴露量,ng/(kg·bw·d); C_i 为不同鲜冻水产动物的消费量,g/d; R_i 为鲜冻水产动物中某种抗生素残留量,μg/kg;BW为个体的体重,kg。

1.5.1 点评估法 高暴露主要用于评估高消费量人群长期摄入污染水平一般的食物带来的风险;一般暴露主要用于评估消费水平一般人群长期摄入污染水平一般的食物带来的风险。 EDI_1 (高暴露人群)=膳食消费量P95*抗生素残留量均值/平均体重; EDI_2 (一般暴露人群)=膳食消费量均值*抗生素残留量均值/平均体重。

1.5.2 概率评估法 通过Excel软件(V 16.0)建立消费量和抗生素污染含量数据库,采用概率评估软件@Risk 7.5(美国Palisade公司)进行分布拟合,用赤池检验方法进行拟合度检验,并确定最佳拟合分布。应用膳食暴露量公式计算,采用拉丁超立方抽样,以蒙特卡洛原理进行10 000次模拟,最终获得上海市成年居民经鲜冻水产动物(淡水鱼)摄入恩诺沙星(含环丙沙星)的暴露分布。

1.6 健康风险评估 采用食品安全指数(Index of Food Safety, IFS)法^[6-7]来评估鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素的健康风险。 $IFS_1 = EDI_1 / (1\ 000 \cdot ADI)$ 、 $IFS_2 = EDI_2 / (1\ 000 \cdot ADI)$,EDI单位为ng/(kg·bw·d),ADI单位为μg/(kg·bw·d)。 $IFS \leq 1$ 时,表明通过膳食途径摄入抗生素对人体健康影响的风险是可以接受的;当 $IFS > 1$ 时,表明存在发生对健康不利影响的风险,并且这种风险随着数值的增大而增大。

1.7 数据处理及统计学分析 本研究数据采用SAS OA软件进行统计分析,污染物以均数、P95、最大值进行描述,未检出值以1/2 LOD计。不同食品类别、环节、包装类型中抗生素残留量比较采用Kruskal -

Wallis非参数检验,检出率和超标率比较采用列联表 χ^2 检验。不同食物类别、年龄、性别、城乡之间的消费量比较采用方差分析,再用SNK-q检验进行两两比较,检验水准为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 总体情况 通过2017—2024年连续监测,鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素总检出率为26.40%(2 338/8 857),总超标率为4.36%(386/8 857),其变化趋势见图1。其中,总检出率总体呈上升趋势,2023年总检出率最高为34.50%,2017年总检出率最低为12.50%。总超标率总体趋势较稳定,2021年总超标率最高为6.30%,2017年总超标率最低为2.90%。

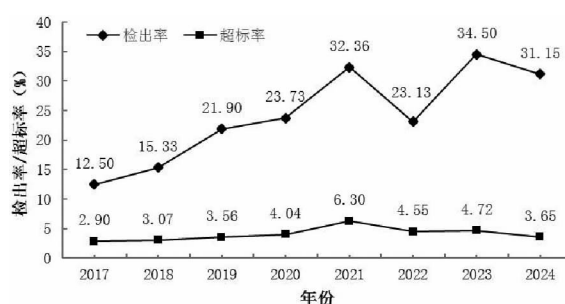


图1 2017—2024年鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素总检出率和总超标率年度趋势

Fig. 1 The annual trends of the total detection rate and total over-limit rate of quinolone antibiotics in fresh and frozen aquatic animals from 2017 to 2024

2.2 鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素监测情况

2.2.1 鲜冻水产动物中不同种类喹诺酮类抗生素残留情况 鲜冻水产动物中各种喹诺酮类抗生素残留情况见表2。14种喹诺酮类抗生素中,恩诺沙星(含环丙沙星)检出率最高为26.21%,检出浓度均值为28.97 μg/kg,最大值为5 323.00 μg/kg。其余喹诺酮类抗生素检出率均低于1%。此外,二氟沙星、噁喹酸、氟甲喹、洛美沙星、萘啶酸在鲜冻水产动物中均未检出,后续不做分析与评估。恩诺沙星(含环丙沙星)超标率最高为3.91%,其余喹诺酮类抗生素超标率均低于1%。

2.2.2 不同类别鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素残留情况 不同类别鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素总残留量($\chi^2 = 626.153, P < 0.001$)、检出率($\chi^2 = 2\ 216.252, P < 0.001$)、超标率均有显著差异($\chi^2 = 279.097, P < 0.001$,见表3)。淡水鱼中总残留量均值最高为63.69 μg/kg。淡水鱼中检出率和超标率最高,分别为52.44%、8.58%。

表 2 2017—2024 年上海市鲜冻水产动物中不同喹诺酮类抗生素残留量及检出、超标情况

Table 2 The residue levels, detection and over – limit situations of different quinolone antibiotics in fresh and frozen aquatic animals in Shanghai from 2017 to 2024

污染物名称	件数	$\bar{x} \pm s$ ($\mu\text{g/kg}$)	中位数 ($\mu\text{g/kg}$)	P95 ($\mu\text{g/kg}$)	最大值 ($\mu\text{g/kg}$)	检出率 (%)	超标率 (%)
恩诺沙星(含环丙沙星)	8 857	28.97 ± 189.39	0.50	76.00	5 323.00	26.21	3.91
氧氟沙星	8 238	0.71 ± 7.54	0.15	1.50	453.00	0.58	0.50
诺氟沙星	8 238	0.78 ± 13.25	0.15	1.50	1 200.00	0.08	0.08
培氟沙星	8 238	0.63 ± 0.72	0.15	1.50	22.10	0.06	0.06
沙拉沙星	8 438	0.65 ± 1.51	0.15	1.50	101.00	0.12	0.00
达氟沙星	7 998	0.41 ± 0.48	0.15	1.50	18.00	0.01	0.00
依诺沙星	1 084	0.19 ± 1.38	0.15	0.15	45.70	0.09	–
西诺沙星	1 084	0.16 ± 0.35	0.15	0.15	11.70	0.09	–
合计	8 857	33.84 ± 190.56	5.00	82.95	5 357.10	26.40	4.36

注：“–”表示依诺沙星、西诺沙星尚无食品安全国家标准限量，不做超标判定。

2.2.3 不同采样环节鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素残留情况 不同采样环节采集的鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素总残留量($\chi^2 = 137.940, P < 0.001$)、检出率($\chi^2 = 89.632, P < 0.001$)、超标率($\chi^2 = 26.221, P < 0.001$)均有显著差异(见表 3)。其中,在农贸市场采集的水产动物样品总残留量均值及超标率最高,分别为 39.53 $\mu\text{g/kg}$ 、4.91%,在商店采集的

水产动物样品检出率最高为 29.34%。
2.2.4 不同包装类型鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素残留情况 散装样品中喹诺酮类抗生素总残留量($\chi^2 = 6.643, P = 0.010$)、检出率($\chi^2 = 19.954, P < 0.001$)、超标率($\chi^2 = 3.934, P = 0.047$)均显著高于定型包装样品(见表 3)。散装样品中总残留量均值为 34.19 $\mu\text{g/kg}$ 、检出率为 26.63%、超标率为 4.41%。

表 3 2017—2024 年上海市鲜冻水产动物不同食物类别、采样环节、包装类型中喹诺酮类抗生素总残留量及检出、超标情况
Table 3 The total residues, detection and over – limit situations of quinolone antibiotics in different food categories, sampling stages and packaging types of fresh and frozen aquatic animals in Shanghai from 2017 to 2024

组别	件数	χ^2 ($\mu\text{g/kg}$)	P95 ($\mu\text{g/kg}$)	最大值 ($\mu\text{g/kg}$)	χ^2 (P 值)
食物类别					626.153 ($P < 0.001$)
淡水鱼	3 509	63.69	244.35	5 357.10	
淡水虾	1 975	27.06	61.30	3 598.35	
淡水蟹	1 578	5.22	15.00	45.20	
海水鱼	253	14.01	21.49	1 940.35	
海水虾	45	2.16	2.60	17.25	
海水蟹	34	1.77	1.80	1.80	
软体动物	1 463	7.43	15.00	614.35	
采样环节					137.940 ($P < 0.001$)
农贸市场	4 441	39.53	94.30	4 340.90	
商店	2 764	36.98	95.20	5 357.10	
网店	1 504	14.07	32.45	2 076.85	
餐饮环节	67	3.85	15.00	19.85	
养殖环节	81	7.05	12.75	45.20	
包装类型					6.643 ($P = 0.010$)
定型包装	107	5.72	15.00	46.18	
散装	8 750	34.19	83.78	5 357.10	

组别	检出数	检出率 (%)	χ^2 (P 值)	超标数	超标率 (%)	χ^2 (P 值)
食物类别			2 216.252 ($P < 0.001$)			279.097 ($P < 0.001$)
淡水鱼	1 840	52.44		301	8.58	
淡水虾	280	14.18		71	3.59	
淡水蟹	39	2.47		3	0.19	
海水鱼	98	38.74		3	1.19	
海水虾	3	6.67		0	0.00	
海水蟹	0	0.00		0	0.00	
软体动物	78	5.33		8	0.55	
采样环节			89.632 ($P < 0.001$)			26.221 ($P < 0.001$)

(续表)

组别	检出数	检出率 (%)	χ^2 (P 值)	超标数	超标率 (%)	χ^2 (P 值)
农贸市场	1 240	27.92		218	4.91	
商店	811	29.34		133	4.81	
网店	269	17.89		35	2.33	
餐饮环节	10	14.93		0	0.00	
养殖环节	8	9.88		0	0.00	
包装类型			19.954 (P < 0.001)			3.934 (P = 0.047)
定型包装	8	7.48		0	0.00	
散装	2 330	26.63		386	4.41	

2.3 上海市成年居民鲜冻水产动物消费量情况

2.3.1 不同类别鲜冻水产动物消费量情况 上海市成年居民对不同类别鲜冻水产动物消费量情况见表 4。消费量排序为淡水鱼 > 虾 > 海水鱼 > 蟹 ≈ 贝壳类 > 其他软体动物,成年居民对不同类别鲜冻水产动物消费量差异具有统计学意义 (F = 444.240, P < 0.001)。

2.3.2 不同人群鲜冻水产动物消费量情况 上海市

不同年龄、性别、地区人群鲜冻水产动物的消费量情况见表 4。18 ~ 44 岁人群鲜冻水产动物消费量显著高于 60 岁及以上人群 (F = 3.790, P = 0.023);不同性别间鲜冻水产动物的消费量没有显著差异 (F = 0.160, P = 0.690);城市中心区人群鲜冻水产动物消费量显著高于城郊结合区和远郊地区人群 (F = 15.380, P < 0.001)。

表 4 上海市不同食物类别和不同人群居民鲜冻水产动物消费量

Table 4 The consumption of fresh and frozen aquatic animals by different food categories and different groups of residents in Shanghai in 2023

组别	人数	$\bar{x}$ (g/d) $\pm$ s (g/d)	P95 (g/d)	F 值	P 值
食物类别				444.240	<0.001
淡水鱼	2 920	32.97 $\pm$ 51.03 ^a	112.86		
海水鱼	2 920	15.84 $\pm$ 35.03 ^b	57.14		
虾	2 920	19.50 $\pm$ 31.62 ^c	64.29		
蟹	2 920	6.36 $\pm$ 15.79 ^d	28.57		
软体动物 - 贝壳类	2 920	4.94 $\pm$ 15.37 ^d	24.64		
软体动物 - 其他	2 920	1.84 $\pm$ 7.35 ^e	7.14		
年龄				3.790	0.023
18 ~ 44	738	88.87 $\pm$ 112.94 ^a	275.64		
45 ~ 59	722	83.90 $\pm$ 98.95 ^{a,c}	223.60		
≥60	1 460	76.54 $\pm$ 99.34 ^c	233.97		
性别				0.160	0.690
男	1 458	82.24 $\pm$ 101.46	234.00		
女	1 462	80.71 $\pm$ 104.44	255.16		
地区				15.380	<0.001
城市中心区	1 480	91.84 $\pm$ 113.73 ^a	288.31		
城郊结合区	720	70.25 $\pm$ 85.67 ^c	190.22		
远郊地区	720	71.39 $\pm$ 92.90 ^c	215.79		

注:a、b、c、d、e 分别表示经两两比较是否有统计学意义,相同上标表示无统计学意义。

2.4 鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素残留健康风险评估

2.4.1 点评估 本研究分别模拟高暴露人群、一般暴露人群计算各种喹诺酮类抗生素的 EDI 和 IFS,结果见表 5。在检出的 9 种抗生素中,培氟沙星、依诺沙星、西诺沙星因无 ADI 值,无法计算 IFS。不同暴露情况的人群中恩诺沙星(含环丙沙星)的 EDI 和 IFS 始终是最高的,恩诺沙星(含环丙沙星)在高暴露人群的 IFS 为 0.017 51,一般人群为 0.005 89。表明高暴露

人群和一般暴露人群通过鲜冻水产动物摄入喹诺酮类抗生素对人体健康影响的风险是可以接受的。

2.4.2 概率评估 根据点评估结果,恩诺沙星(含环丙沙星)的膳食暴露量最高,因此选择对恩诺沙星(含环丙沙星)开展概率评估。

对各类鲜冻水产动物中恩诺沙星(含环丙沙星)残留量以及 2023 年上海市成年居民各类鲜冻水产动物消费量进行分布拟合,恩诺沙星(含环丙沙星)残留量采用离散均匀分布,随机抽取数据。将消费量数据

表 5 鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素的膳食暴露点评估

Table 5 Dietary exposure point assessment of quinolone antibiotics in fresh and frozen aquatic animals

抗生素	ADI μg/(kg·bw·d)	EDI1 ng/(kg·bw·d)	IFS1	EDI2 ng/(kg·bw·d)	IFS2
恩诺沙星(含环丙沙星)	6.2	108.55	0.017 51	36.49	0.005 89
沙拉沙星	0.3	2.44	0.008 13	0.82	0.002 73
氧氟沙星	5.0	2.66	0.000 53	0.89	0.000 18
诺氟沙星	14.0	2.92	0.000 21	0.98	0.000 07
达氟沙星	20.0	1.54	0.000 08	0.52	0.000 03
培氟沙星	—	2.36	—	0.79	—
依诺沙星	—	0.71	—	0.24	—
西诺沙星	—	0.60	—	0.20	—

注:2023 年膳食调查平均体重为 66.23 kg;“—”表示培氟沙星、依诺沙星、西诺沙星尚无 ADI 值,无法计算 IFS。

进行拟合度检验,分布模型参数见表 6。抽样方法设定为拉丁超立方抽样,以 Monte Carlo 原理进行 10 000 次模拟,最终获得上海市成年居民经鲜冻水产动物、淡水鱼摄入恩诺沙星(含环丙沙星)每日暴露量的概率分布。

图 2 显示,上海市成年居民经鲜冻水产动物摄入恩诺沙星(含环丙沙星)P50 暴露量为 1.89 ng/(kg·bw·d)、P95 暴露量为 139.00 ng/(kg·bw·d)。图 3 显示,上海市成年居民经淡水鱼摄入恩诺沙星(含环丙沙星)P50 暴露量为 0.41 ng/(kg·bw·d)、P95 暴露量为 82.40 ng/(kg·bw·d),淡水鱼对经鲜冻水产动物摄入恩诺沙星(含环丙沙星)暴露量的贡献率约为 21.69%(根据 P50 暴露量计算)。

表 6 各类鲜冻水产动物消费量概率评估参数

Table 6 Probability assessment parameters for the consumption of various fresh and frozen aquatic animals

水产动物类别	分布模型参数
淡水鱼	RiskPareto2(1.185,3.316)
海水鱼	RiskGamma(0.774,0.391)
虾	RiskExpon(0.301)
蟹	RiskExpon(0.098)
软体动物	RiskExpon(0.102)

3 讨论

本研究表明,上海市售鲜冻水产动物领域,喹诺酮类抗生素污染问题虽然持续存在,但评估结果表明,一般暴露人群、高暴露人群通过鲜冻水产动物摄入喹诺酮类抗生素对人体的健康风险很低。

本研究中鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素超标率呈现先升后降的变化趋势:2017 年起逐步上升,至 2021 年达到阶段性高点后开始持续回落。这一变化趋势与国家七部委于 2021 年联合印发的《食用农产品“治违禁 控药残 促提升”三年行动方案》(农质发〔2021〕6 号)实施时间高度契合,提示该专项整治行动在规范水产养殖用药行为、降低喹诺酮类抗生素残

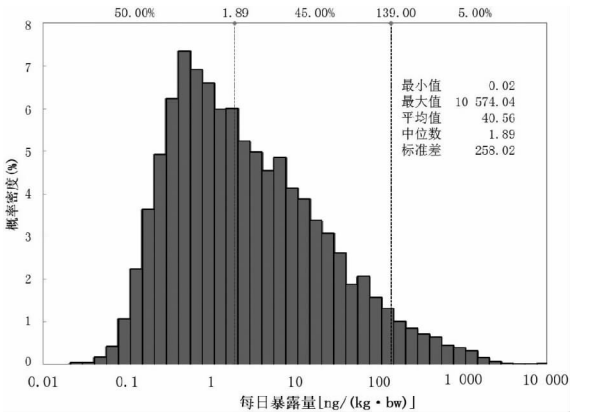


图 2 上海市成年居民经鲜冻水产动物摄入恩诺沙星(含环丙沙星)的概率分布图

Fig. 2 Probability distribution map of enrofloxacin (including ciprofloxacin) intake via fresh and frozen aquatic animals among adult residents in Shanghai

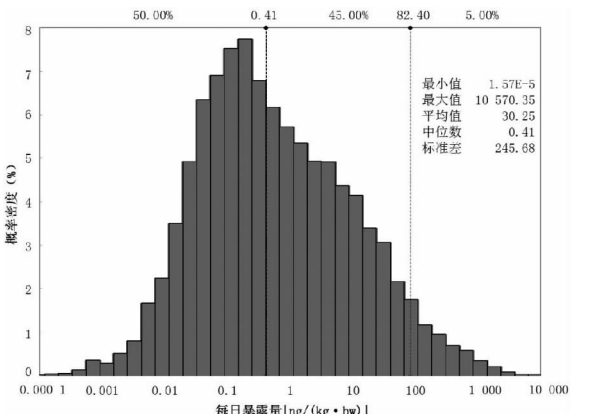


图 3 上海市成年居民经淡水鱼摄入恩诺沙星(含环丙沙星)的概率分布图

Fig. 3 Probability distribution map of enrofloxacin (including ciprofloxacin) intake via freshwater fish among adult residents in Shanghai

留方面取得了显著成效,为食用农产品质量安全保障提供了有力支撑。

上海市市售鲜冻水产动物中喹诺酮类抗生素检出率处于我国较低水平,低于河南省(30.0%)^[8]、山东省(36%)^[9]、湖北省(65.0%)^[10],稍高于浙江省(20.73%)^[5]。我国不同区域水产品抗生素残留水平的差异很大,可能是养殖环境、政策执行力度、养殖模式以及每个城市水产品进货来源不同等多重因素协同作用的结果。此外,不同水产品亚类的抗生素检出率不同,不同研究的水产品种类构成不同可导致抗生素检出率差异。本研究中,喹诺酮类抗生素检出率前三个水产品亚类为淡水鱼(52.44%)>海水鱼(38.74%)>淡水虾(14.18%),与相关研究^[5,11]的检出率排序结果一致。

本研究中,喹诺酮类抗生素中恩诺沙星(含环丙沙星)检出率最高,为26.21%,高于江苏省(18.52%)^[12]、浙江省(16.64%)^[5]、宁波市(13.30%)^[13]等地,低于山东省(34.8%)^[9]、广州市(45%)^[14]、湖北省(62.5%)^[10]等地水产品中恩诺沙星的检出率。通过与其他地区的相关研究进行横向对比,能全面了解恩诺沙星在不同区域水产中的残留现状。恩诺沙星作为新一代喹诺酮类抗生素,相比传统抗菌药物,具有抗菌谱广、抑菌能力强、药代动力学特性佳、安全性好、作用靶点独特等显著优势^[15]。恩诺沙星在多地水产动物中普遍检出的特征,结合其优良的药剂学特性,凸显了该药物在水产养殖业的应用普遍性及残留管控的必要性。

本研究还存在一定的局限性:喹诺酮类抗生素作为一类常用兽药,广泛存在于水产类、肉类、蛋类、奶类等动物性食品中。本研究在开展暴露评估时,仅将鲜冻水产动物纳入考量范围,导致对喹诺酮类抗生素暴露风险的低估。消费量调查数据显示水产动物消费量在动物性食品(含肉类、蛋类、水产动物类、乳类)消费总量中占比22.10%。经过相应换算后发现,一般暴露和高暴露情况下,经由动物性食品摄入喹诺酮类抗生素的风险仍是可接受的(IFS<1)。此外,软体动物、虾、蟹未按细分类别展开消费量调查,以上不确定性均可能对本次评估结果带来一定影响。

本研究抗生素残留量连续监测时间长、样本量较大,具有较好的代表性;同时采用了具有省级代表性的水产动物消费量,并结合了点评估和概率评估两种方法开展分析。研究结果为食品安全标准优化、养殖环节用药管控及精准化风险干预提供科学依据,进而保障居民饮食安全与健康。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] 粮农组织. 2024 年世界渔业和水产养殖状况: 蓝色转型在行动 [M]. 罗马: 联合国粮食及农业组织, 2024.
- [2] Palma - Alvarez RF, Duque - Yemail J, Ros - Cucurull E, et al. Quinolone - induced psychosis: an updated review [J]. *Actas Espanolas de Psiquiatria*, 2020, 48(3): 126 - 137.
- [3] Chen J, Sun R, Pan C, et al. Antibiotics and food safety in aquaculture [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(43): 11908 - 11919.
- [4] 贾斌, 庾旸, 马海川, 等. 我国长三角地区淡水池塘养殖水产品中抗生素残留及对人体暴露的贡献评价 [J]. *农业环境科学学报*, 2022, 41(2): 238 - 245.
- [5] Jia B, Yu Y, Ma HC, et al. Antibiotic residues and human exposure evaluation in freshwater aquaculture products from Yangtze River Delta, China [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 41(2): 238 - 245. (In Chinese)
- [6] 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.
- [7] Long J, Yang J, Mei GM, et al. Research on the pollution characteristics and health risk assessment of quinolone antibiotics in aquatic products in production and circulation links [J]. *Environmental Science and Management*, 2023, 48(9): 185 - 190. (In Chinese)
- [8] 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.
- [9] Wang YY, Lv GJ, Chen GS, et al. Assessment of the residue status of 13 kinds of veterinary drugs and dietary exposure risks in commercially sold farmed aquatic products in Jinhua City from 2021 to 2024 [J]. *Journal of Environment and Health*, 2025, 42(5): 383 - 386. (In Chinese)
- [10] 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.
- [11] Sun X, Zhang C, Cao M, et al. The risk of quinolone antibiotic residues in freshwater fish and shrimp sold in Beijing was evaluated based on the food safety index [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2025, 16(14): 10 - 16. (In Chinese)
- [12] 张利锋, 杨瑞春, 袁鹏, 等. 2020 年河南省 9 个城市市售淡水鱼中抗生素残留水平监测分析 [J]. *河南预防医学杂志*, 2021, 32(8): 583 - 586.
- [13] Zhang LF, Yang RC, Yuan P, et al. Monitoring and analysis of antibiotic residual levels in freshwater fish sold in nine cities of Henan province, 2020 [J]. *Henan Journal of Preventive Medicine*, 2021, 32(8): 583 - 586. (In Chinese)
- [14] 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.
- [15] 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. (In Chinese)

- Physiology and Pharmacology, 2021, 72(5): 1604801.
- [13] 杨文英. 肠道激素与肥胖和糖尿病[J]. 中国糖尿病杂志, 2015(12): 1142–1148.
- Yang WY. Gut hormones in obesity and diabetes [J]. Chinese Journal of Diabetes, 2015(12): 1142–1148. (In Chinese)
- [14] 薛秀菊, 聂文波, 冷慧, 等. 下丘脑弓状核 PYY 对大鼠摄食、胃运动和能量代谢的影响及机制[J]. 现代生物医学进展, 2019, 19(21): 4020–4025.
- Xue XJ, Nie WB, Leng H, et al. Effects of hypothalamic ARC PYY on the feeding, gastric motility and energy metabolism in rats and its potential mechanism[J]. Progress in Modern Biomedicine, 2019, 19(21): 4020–4025. (In Chinese)
- [15] Mesgari – Abbasi M, Abbasalizad FM. Serum concentrations of cholecystokinin, peptide YY, ghrelin and high sensitive C – reactive protein in association with metabolic syndrome ingredients in obese individuals [J]. Acta Endocrinol (Buchar), 2020, 16(1): 37–42.
- [16] Alyar G, Umudum FZ. Differences in the levels of the appetite peptides ghrelin, peptide tyrosine tyrosine, and glucagon – like peptide – 1 between obesity classes and lean controls [J]. Laboratory Medicine, 2024, 55(5): 553–558.
- [17] Dicks LMT. How important are fatty acids in human health and can they be used in treating diseases? [J]. Gut Microbes, 2024, 16(1): 2420765.
- [18] Takeuchi T, Kameyama K, Miyauchi E, et al. Fatty acid overproduction by gut commensal microbiota exacerbates obesity [J]. Cell Metabolism, 2023, 35(2): 361–375. e9.
- [19] 王小莉, 武文珺, 李静雯, 等. 围绝经期抑郁症患者与健康人群肠道菌群结构差异分析[J]. 中国微生态学杂志, 2024, 36(12): 1436–1441.
- Wang XL, Wu WJ, Li JW, et al. Characteristics of gut microbiota between perimenopausal depression patients and healthy individuals [J]. Chinese Journal of Microecology, 2024, 36(12): 1436–1441. (In Chinese)
- [20] Dong J, Ping L, Meng Y, et al. Bifidobacterium longum BL – 10 with antioxidant capacity ameliorates lipopolysaccharide – induced acute liver injury in mice by the nuclear factor – κ B Pathway [J]. Food Chemistry, 2022, 70(28): 8680–8692.
- [21] Tamanai – Shacoori Z, Smida I, Bousarghin L, et al. Roseburia spp: a marker of health? [J]. Future Microbiology, 2017, 12: 157–170.
- [22] Riggen – Bueno V, Del TS, Baltazar – Diaz TA, et al. Intestinal dysbiosis in subjects with obesity from western Mexico and its association with a proinflammatory profile and disturbances of folate (B9) and carbohydrate metabolism [J]. Metabolites, 2024, 14(2): 121.
- [23] Perry RJ, Peng L, Barry NA, et al. Acetate mediates a microbiome – brain – β – cell axis to promote metabolic syndrome [J]. Nature, 2016, 534(7606): 213–217.
- [24] Zeng Q, Li DF, He Y, et al. Discrepant gut microbiota markers for the classification of obesity – related metabolic abnormalities [J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 13424.
- [25] Zheng ZB, Lyu W, Ren Y, et al. Allobaculum involves in the modulation of intestinal ANGPTL4 expression in mice treated by high – fat diet [J]. Front Nutr, 2021, 8: 690138.
- [26] Hussain T, Murtaza G, Kalhor DH, et al. Relationship between gut microbiota and host – metabolism: Emphasis on hormones related to reproductive function [J]. Animal Nutrition, 2021, 7(1): 1–10.
- [27] Hyder A, Sheta B, Eissa M, et al. Silencing the FABP3 gene in insulin – secreting cells reduces fatty acid uptake and protects against lipotoxicity [J]. Acta Diabetologica, 2024, 61(12): 1577–1588.
- [28] Min W, Rachael ME, Catherine EG, et al. Loss of Akt1 in mice increases energy expenditure and protects against Diet – Induced obesity [J]. Molecular and Cellular Biology, 2012, 32(1): 96–106.
- [29] Reich T, Adato O, Kofman NS, et al. TREM2 has a significant, gender – specific, effect on human obesity [J]. Scientific Reports, 2023, 13(1): 482.

收稿日期: 2025-12-22

(上接第 2194 页)

- [10] 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. (In Chinese)
- [11] 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): 382–384.
- Xu WZ, Ni CZ, Hao W, et al. Analysis and evaluation of quinolone residues in farmed aquatic products in Taizhou city [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2022, 32(3): 382–384. (In Chinese)
- [12] 翟纹静, 朱振华, 陈娟, 等. 2018 年江苏部分地区流通环节水产品中麻醉剂和多种抗生素残留监测 [J]. 卫生研究, 2020, 49(2): 313–316.
- Zhai WJ, Zhu ZH, Chen J, et al. Monitoring of anesthetic and multiple antibiotic residues in aquatic products in circulation links in some areas of Jiangsu province in 2018 [J]. Journal of Hygiene Research, 2020, 49(2): 313–316. (In Chinese)
- [13] 柴丽月, 柳海, 梁芹芹, 等. 宁波市水产品中氟喹诺酮类药物残留现状分析及对策 [J]. 检验检疫学刊, 2020, 30(1): 25–27.
- Chai LY, Liu H, Liang QQ, et al. Analysis of the current situation and countermeasures of fluoroquinolone drug residues in aquatic products in Ningbo city [J]. Journal of Inspection and Quarantine, 2020, 30(1): 25–27. (In Chinese)
- [14] 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. Investigation on quinolone drug residues in freshwater fish in Guangzhou area [J]. Journal of Environment and Health, 2009, 26(2): 109–111. (In Chinese)
- [15] 孟顺龙, 李鸣霄, 陈曦, 等. 我国典型淡水水域环境中喹诺酮类抗生素污染的研究进展 [J]. 农业环境科学学报, 2025, 44(3): 580–593.
- Meng SL, Li MX, Chen X, et al. Research progress on quinolone antibiotic pollution in typical freshwater environments in China [J]. Journal of Agro – environment Science, 2025, 44(3): 580–593. (In Chinese)

收稿日期: 2025-12-03