DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260220001
引用格式: 杨晓珺, 贾添慧, 孙静, 等. 2025 年太仓地区 4 种市售淡水鱼中兽药残留分析及膳食暴露风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(16): 198–206.
Yang Xiaojun, Jia Tianhui, Sun Jing, et al. Residues of veterinary drugs and dietary exposure risk assessment in 4 kinds of freshwater fish sold in Taicang Area in 2025 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(16): 198–206. (in Chinese with English abstract).

2025 年太仓地区 4 种市售淡水鱼中兽药残留分析及膳食暴露风险评估

杨晓珺*, 贾添慧, 孙　静, 刘　梅, 张文瀚
(太仓市检验检测中心, 太仓　215400)

摘　要: 目的　了解 2025 年太仓地区 4 种市售淡水鱼中兽药残留状况, 并评估膳食暴露风险。**方法**　采集市售淡水鱼样品 355 份, 采用国家标准检测方法检测 16 种兽药残留量, 结合居民水产品摄入量, 采用食品安全指数(index of food safety, IFS)进行膳食暴露风险评估。**结果**　淡水鱼中兽药残留总检出率为 72.39% (257/355), 超标率为 5.92% (21/355)。4 种淡水鱼中鳊鱼的检出率和超标率最高, 分别为 88.00% (66/75)和 17.33% (13/75)。16 种兽药残留检出 6 种, 检出率和超标率最高均为恩诺沙星(以恩诺沙星与环丙沙星之和计), 分别为 70.99% (252/355)和 5.35% (19/355)。各年龄组人群膳食暴露量范围为 0.0025~2.0321 μg/(kg・d), IFS 范围为 0.0007~0.6774。**结论**　2025 年太仓地区 4 种市售淡水鱼兽药残留暴露风险较低, 处于安全水平, 恩诺沙星残留现象较为普遍, 应予以重视。

关键词: 淡水鱼; 兽药残留; 食品安全指数; 膳食暴露量; 风险评估
中图分类号: R155.5　　**文献识别码:** A　　**文章编号:** 2095–0381(2026)16–0198–09

Residues of veterinary drugs and dietary exposure risk assessment in 4 kinds of freshwater fish sold in Taicang Area in 2025

YANG Xiao-Jun*, JIA Tian-Hui, SUN Jing, LIU Mei, ZHANG Wen-Han
(*Taicang Inspection and Testing Center*, *Taicang* 215400, *China*)

ABSTRACT: Objective　To know the status of veterinary drug residues and assess the dietary exposure risk in 4 kinds of freshwater fish sold in the Taicang Area in 2025. **Methods**　A total of 355 samples of freshwater fish were collected, and the residues of 16 kinds of veterinary drugs were detected, following the national standard method of determination. Coupling the dietary intake of residents, the index of food safety (IFS) was used to evaluate the dietary exposure risk of veterinary drug residues. **Results**　The total detection rate of veterinary drug residues in freshwater fish was 72.39% (257/355), with an exceedance rate of 5.92% (21/355). Among the 4 kinds of freshwater fish species, bream had the highest detection rate and exceeding rate of veterinary drug residues, which were 88.00% (66/75) and 17.33%

收稿日期: 2026-02-20
第一作者/*通信作者: 杨晓珺(1993—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品科学与工程。E-mail: 1027549686@qq.com

(13/75), respectively. The 6 kinds of veterinary drug residues out of 16 kinds of veterinary drug residues were detected. The highest detection rate and exceeding rate were both for enrofloxacin (calculated as the sum of enrofloxacin and ciprofloxacin), which were 70.99% (252/355) and 5.35% (19/355), respectively. The dietary exposure of all age groups was in the range of 0.0025–2.0321 μg/(kg•d), with the IFS values in the range of 0.0007–0.6774. **Conclusion** The exposure risk of veterinary drug residues intake through freshwater fish among Taicang residents is relatively low, remaining within a safe level. The residue phenomenon of enrofloxacin is relatively common and should be attached importance.

KEY WORDS: freshwater fish; veterinary drug residue; index of food safety; dietary exposure; risk assessment

0　引　言

我国是全球水产养殖生产大国, 据统计[1], 2024 年全国水产品总产量达 7357.58 万吨, 其中淡水养殖产量 3532.39 万吨, 约占总产量的 48.0%, 已成为我国水产产业的核心组成部分; 江苏地区作为淡水养殖重点优势区域, 其淡水养殖产量达 369.44 万吨, 位列全国前三, 是长三角地区乃至全国重要的淡水水产供应基地, 对保障区域水产品供应、稳定水产品市场具有不可替代的作用。鱼类等水产品凭借高蛋白质、低饱和脂肪等营养优势, 成为居民膳食结构中重要组成部分, 其消费需求随着生活水平的提升持续增长, 相关数据显示[2], 1982—2015 年, 中国居民鱼虾类食品在膳食中的占比从 11.1%提高到了 24.3%。

为应对日益增长的市场需求, 水产养殖模式逐步向集约化、半集约化转型[3–4], 养殖密度大幅提升, 养殖周期不断缩短, 有效提高养殖产量和经济效益。但高密度养殖模式也带来了一系列问题, 养殖水体水质易恶化、疾病爆发频率显著增加, 抗生素、杀菌剂等药物的应用已成为防控养殖风险、降低发病率和死亡率、保障养殖产量的必要手段[5–7]。然而, 部分养殖主体受利益驱动, 存在过量用药、违规用药或滥用违禁药物等行为, 导致药物在水产养殖动物体内残留, 进而通过膳食途径进入人体, 对人类健康和生态环境构成双重危险[8–11]。

兽药残留问题是全球食品安全领域的重点关注热点, 目前欧美等发达国家已建立较为完善的监管体系[12]。近年来国内相关研究逐步增多, 多集中于如北京[13]、上海[14]、金华[15]等省、市级层面的水产品兽药残留监测与风险评估, 针对县级市等基层区域的专项监测研究相对匮乏, 由于喹诺酮类药物广泛用于水产养殖[7], 现有研究多以喹诺酮类抗生素为主要研究对象[13–14], 虽也有部分文献[15]同步开展多种兽药检测, 但此类研究仍较为有限。

太仓市水产资源丰富, 水产品消费占比较高, 但目前关于太仓市市售水产品中兽药残留量的系统性监测数据及膳食暴露风险评估较为缺乏, 难以有效支撑当地水产品质量安全风险防控工作。基于此, 本研究选取太仓地区居民消费频次较高的 4 种中小型淡水鱼作为研究对象, 开展 16 种兽药残留监测分析, 并结合水产品消费量数据, 采用食品安全指数(index of food safety, IFS)进行膳食暴露风险评估。研究结果旨在明晰太仓市水产品兽药残留污染现状与潜在风险, 为监管提供科学依据, 引导居民健康消费, 助力本地水产产业规范化、标准化发展; 同时进一步丰富江苏地区水产品兽药残留数据, 与国内其他地区数据形成互补, 为全国范围内水产品质量安全宏观研究、标准制修定及风险研判提供区域性数据支撑。

1　材料与方法

1.1　样品采集

2025 年对太仓地区各大农贸市场、批发市场、水产经营部等流通领域销售的 4 种淡水鱼进行采样, 共计样品 355 份, 其中鳊鱼 75 份、黑鱼 99 份、鲫鱼 150 份、鲈鱼 31 份。

1.2　仪器与试剂

QTRAP 4500 液相色谱-三重四级杆串联质谱联用仪(美国 AB Sciex 公司); BCE623I-1CCN 电子天平[精度 1 mg, 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司]; XH-C 漩涡混合器(常州同创实验仪器厂); SK3200H 超声波清洗仪(上海科导超声仪器有限公司); TGL-20M 高速冷冻离心机(上海卢湘仪离心机仪器有限公司); RV10 数显型立式旋转蒸发仪(德国 IKA 公司); Visiprep DL12 固相萃取装置(德国 Merck 公司); N-EVA12 氮吹仪(美国 Organomation 公司); SHA-C 数显恒温水浴振荡器(金坛市城东光芒仪器厂)。

恩诺沙星、环丙沙星、沙拉沙星、诺氟沙星、培氟沙星、氯霉素、甲氧苄啶、呋喃唑酮、呋喃西林、呋喃妥因、呋喃唑酮内标、呋喃西林内标、呋喃妥因内标、五氯酚、孔雀石绿、隐色孔雀石绿、孔雀石绿内标、隐色孔雀石绿内标溶液标准物质(质量浓度 100 μg/mL, 坛墨质检科技股份有限公司); 氯霉素内标、氟苯尼考、氟苯尼考胺、磺胺二甲异噁唑、磺胺二甲异嘧啶、磺胺噻唑、磺胺吡啶、磺胺间甲氧嘧啶、磺胺甲氧哒嗪、磺胺甲噁唑、磺胺甲噻二唑、磺胺二甲基嘧啶、磺胺对甲氧嘧啶、磺胺甲基嘧啶、磺胺胍、磺胺邻二甲氧嘧啶、磺胺间二甲氧嘧啶、磺胺嘧

啶、磺胺氯哒嗪、磺胺喹噁啉、氘代磺胺邻二甲氧嘧啶、氘代磺胺间二甲氧嘧啶、甲硝唑、地西泮溶液标准物质(质量浓度 100 μg/mL, 天津阿尔塔科技有限公司); 甲醇、乙腈、正己烷(质谱纯, 美国赛默飞世尔科技公司); 乙酸铵、甲酸(色谱纯, 上海易恩化学技术有限公司); 乙酸乙酯(色谱纯, 上海安谱实验科技股份有限公司); 无水硫酸钠、盐酸、氯化钠、氨水、三乙胺、异丙醇、一水合柠檬酸、六水合氯化镁、正丙醇(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 二甲基亚砜、冰乙酸、2-硝基苯甲醛(色谱级, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司)。

1.3 检验项目及方法

本研究主要依据《全国食品安全监督抽检实施细则》要求对 16 种兽药残留进行检测, 包括恩诺沙星(以恩诺沙星与环丙沙星之和计)、沙拉沙星、诺氟沙星、氧氟沙星、培氟沙星、氯霉素、氟苯尼考(以氟苯尼考与氟苯尼考胺之和计)、磺胺类(总量)、甲氧苄啶、呋喃唑酮代谢物、呋喃西林代谢物、呋喃妥因代谢物、甲硝唑、地西泮、五氯酚酸钠(以五氯酚计)、孔雀石绿(以孔雀石绿与隐色孔雀石绿之和计)。具体检测依据和判定依据见表 1。每批样品同时进行平行实验、空白实验和加标回收实验, 保证结果的准确性和可靠性。

1.4 水产品摄入量与体质量数据

参考《中国人群暴露手册(儿童卷: 0~5 岁)》[16]《中国人群暴露手册(儿童卷: 6~17 岁)》[17]《中国人群暴露手册(成人卷)》[18], 查得江苏省居民水产品摄入量和平均体质量, 见表 2。

表 1 4 种淡水鱼兽药残留检验依据和判定依据

Table 1 Inspection and determination basis of veterinary drug residues in 4 kinds of freshwater fish

药物类别	检验项目	检验依据	判定依据	定量限/(μg/kg)
喹诺酮类	恩诺沙星(以恩诺沙星与环丙沙星之和计)	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》	GB 31650—2019《食品安全国家标准 食品中兽药最大残留限量》	2.0
	沙拉沙星			2.0
	诺氟沙星		GB 31650.1—2022《食品安全国家标准 食品中 41 中兽药最大残留限量》	2.0
	氧氟沙星			2.0
	培氟沙星			2.0
氯霉素类	氯霉素	GB 31658.2—2021《食品安全国家标准 动物性食品中氯霉素残留量的测定 液相色谱-串联质谱法》	农业农村部公告 第 250 号《食品动物中禁止使用的药品及其他化合物清单》	0.2
	氟苯尼考(以氟苯尼考与氟苯尼考胺之和计)	SN/T 1865—2016《出口动物源食品中甲砜霉素、氟甲砜霉素和氟苯尼考胺残留量的测定 液相色谱-质谱/质谱法》	GB 31650—2019	10 (测定低限)
磺胺类	磺胺类(总量)	农业部 1077 号公告-1-2008	GB 31650—2019	2.0
	甲氧苄啶	GB/T 21316—2007《动物源性食品中磺胺类药物残留量的测定 液相色谱-质谱/质谱法》		10
硝基呋喃类	呋喃唑酮代谢物	GB 31656.13—2021《食品安全国家标准 水产品中硝基呋喃类代谢物多残留的测定 液相色谱-串联质谱法》	农业农村部公告 第 250 号	1.0
	呋喃西林代谢物			1.0
	呋喃妥因代谢物			1.0
硝基咪唑类	甲硝唑	SN/T 2624—2010《动物源性食品中多种碱性药物残留量的检测方法 液相色谱-质谱/质谱法》	GB 31650—2019	10 (测定低限)
其他	地西泮	SN/T 3235—2012《出口动物源食品中多类禁用药物残留量检测方法 液相色谱-质谱/质谱法》	GB 31650—2019	0.5 (测定低限)
	五氯酚酸钠(以五氯酚计)	GB 23200.92—2016《食品安全国家标准 动物源性食品中五氯酚残留量的测定 液相色谱-质谱法》	农业农村部公告 第 250 号	1.0
	孔雀石绿(以孔雀石绿与隐色孔雀石绿之和计)	GB/T 19857—2005《水产品中孔雀石绿和结晶紫残留量的测定》(液相色谱-串联质谱法)	农业农村部公告 第 250 号	0.5 (检出限)

表 2　居民参考水产品摄入量和平均体质量
Table 2　Reference intake of aquatic products and average body weight of residents

年龄	水产品摄入量/(g/d)	平均体质量/kg
2~<3 岁	48.4	14.6
3~<4 岁	56.4	17.1
4~<5 岁	44.8	19.2
5~<6 岁	55.7	20.5
6~<9 岁	48.9	26.7
9~<12 岁	53.3	38.4
12~<15 岁	96.8	51.3
15~<18 岁	73.9	57.4
≥18 岁	55.8	63.2

1.5　膳食暴露风险评估方法

采用 IFS 对 4 种淡水鱼中兽药残留的安全健康风险进行评估, 计算如公式 (1)~(2)所示[19]:

$$\mathrm{EDI}_c=\frac{R\times F\times E\times P}{\mathrm{BW}} \tag{1}$$

$$\mathrm{IFS}_c=\frac{\mathrm{EDI}_c\times f}{\mathrm{SI}_c} \tag{2}$$

式中: c 为检测的某种兽药残留; EDI_c 为兽药残留 c 的每日摄入量估算值(estimated daily intake), μg/(kg • d); R 为淡水鱼兽药残留 c 的残留量, μg/kg; F 为淡水鱼的每日估计消费量, g/d; E 为淡水鱼可食用部分因子, 以 1.0 计; P 为淡水鱼加工处理因子, 以 1.0 计; IFS_c 为兽药残留 c 的食品安全指数; SI_c 为兽药残留 c 的安全摄入量(safe intake), 采用每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI)表示, μg/(kg • d), 参考 GB 31650—2019; BW 为平均体质量(body weight), kg; f 为兽药残留安全摄入量的校正因子, 以 1.0 计。当 IFS≤1 时, 表示兽药残留的膳食暴露风险处于可接受范围, 当 IFS>1 时, 兽药残留膳食暴露风险突破可接受阈值, 风险程度与 IFS 数值成正相关。

1.6　数据处理

应用 Excel 2021 软件进行数据汇总、绘图; 应用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析, 兽药残留的定量以平均值、P_{50}、P_{95}、$P_{97.5}$、最大值进行描述, 其中 P_x 为对应百分位数, 代表 x%的样品残留浓度低于该数值, P_{50} 为中位数, 反映数据中间水平, P_{95}、$P_{97.5}$ 依次表征高残留浓度分布。χ^2 检验比较组间差异, 显著性水平 α=0.05, P<0.05 代表差异有统计学意义。

2　结果与分析

2.1　总体情况

2025 年共检测样品 355 份, 257 份检出兽药残留, 检出率为 72.39%, 其中 14 份样品同时检出 2 种兽药, 占检出样品的 5.45%, 占全部样品的 3.94%; 21 份兽药残留超标, 超标率为 5.92%, 其中 3 份样品同时检出 2 种兽药(均为一者超标, 一者合规), 占超标样品的 14.29%, 占全部样品的 0.85%。4 种淡水鱼中兽药残留检出率从高到低依次为鳊鱼(88.00%, 66/75)、鲈鱼(80.65%, 25/31)、黑鱼(71.72%, 71/99)和鲫鱼(63.33%, 95/150), 不同种类的水产品中兽药残留的检出率差异有统计学意义(χ^2=16.380, P<0.001)。兽药残留超标率从高到低依次为鳊鱼(17.33%, 13/75)、鲫鱼(4.67%, 7/150)、黑鱼(1.01%, 1/99)和鲈鱼(0.00%, 0/31)。不同种类的水产品中兽药残留的超标率差异有统计学意义(χ^2=24.218, P<0.001)。

2.2　不同种类兽药的残留量检测情况

本研究共检测兽药残留 16 种, 其中检出的 6 种兽药残留分别为恩诺沙星(以恩诺沙星与环丙沙星之和计)、沙拉沙星、氟苯尼考(以氟苯尼考与氟苯尼考胺之和计)、磺胺类(总量)、甲氧苄啶和地西泮, 检出率分别为 70.99% (252/355)、1.13% (4/355)、1.97% (7/355)、1.13% (4/355)、0.56% (2/355)和 0.56% (2/355)。检出残留均值最高为氟苯尼考(以氟苯尼考与氟苯尼考胺之和计)(223.95 μg/kg), 检出最大值为恩诺沙星(以恩诺沙星与环丙沙星之和计)(1350.00 μg/kg)。不同种类兽药残留的检出率差异有统计学意义(χ^2=3658.101, P<0.001)。超标率最高为恩诺沙星(以恩诺沙星与环丙沙星之和计)(5.35%, 19/355), 其次为地西泮(0.56%, 2/355)。不同种类的兽药残留的超标率差异有统计学意义(χ^2=258.049, P<0.001), 见表 3。

2.3　不同种类淡水鱼的兽药残留情况

对不同种类淡水鱼中检出的 6 种兽药进行分析, 恩诺沙星(以恩诺沙星与环丙沙星之和计)在 4 种淡水鱼中均有检出, 且检出率均较高, 在鳊鱼中的检出率和超标率最高, 分别为 88.00%和 17.33%; 沙拉沙星仅在黑鱼中检出, 检出率为 4.04%; 氟苯尼考(以氟苯尼考与氟苯尼考胺之和计)在鳊鱼和黑鱼中有检出, 黑鱼中检出率较高为 5.05%; 磺胺类(总量)在鳊鱼、鲫鱼和鲈鱼中有所检出; 甲氧苄啶仅在黑鱼中检出; 地西泮仅在鲫鱼中检出, 检出率为 1.33%, 虽然仅为个别样品检出且检出浓度处于较低水平, 但属于禁用药物, 不允许检出, 见表 4。

2.4　不同年龄组居民经淡水鱼摄入兽药残留的膳食暴露量

以 P_{50}、$P_{97.5}$ 分别进行兽药残留摄入的普通膳食暴露量和高膳食暴露量计算, 见图 1。2~<3 岁、3~<4 岁、4~<5 岁、5~<6 岁、6~<9 岁、9~<12 岁、2~<15 岁、15~<18 岁、≥18 岁年龄组居民通过淡水鱼摄入 6 种检出兽药的普通膳食暴露量范围为 0.0025~0.7492 μg/(kg • d), 高膳食暴露量范围为 0.0025~2.0321 μg/(kg • d), 氟苯尼考(以氟苯尼考与氟苯尼考胺之和计)的普通、高膳食暴露量均高于其他 4 种, 恩诺沙星(以恩诺沙星与环丙沙星之和计)的高膳食暴露量高于其余 3 种, 暴露风险相对高一些。各年龄组中 2~5

岁的儿童组通过淡水鱼摄入兽药残留的膳食暴露量最高, 6~17 岁儿童组次之, 18 岁以上成年人暴露风险最低。

2.5 淡水鱼兽药残留膳食暴露风险评估

P_{50}、$P_{97.5}$ 所对应的普通膳食暴露和高膳食暴露 IFS 范围分别为 0.0007~0.2497 和 0.0012~0.6774, 均小于 1, 见图 2, 表明检出的 6 种兽药残留总体风险处于较低水平。地西泮由于尚未设定 ADI, 无法进行 IFS 的计算, 本研究暂不予评价。

表 3 2025 年太仓地区 4 种淡水鱼中不同种类兽药残留检测情况

Table 3 Detection of different types of veterinary drug residues in 4 kinds of freshwater fish in Taicang Area in 2025

检测项目	标准指标/(μg/kg)	样品数/份	检出数/份	检出率/%	超标数/份	超标率/%	检出含量/(μg/kg)				
							范围	P_{50}	P_{95}	$P_{97.5}$	平均值
恩诺沙星(以恩诺沙星与环丙沙星之和计)	≤100	355	252	70.99	19	5.35	2.08~1350.00	19.55	190.70	310.20	49.46
沙拉沙星	≤30	355	4	1.13	0	0.00	2.28~28.10	12.81	26.39	27.25	14.00
诺氟沙星	≤2	355	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-
氧氟沙星	≤2	355	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-
培氟沙星	≤2	355	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-
氯霉素	不得检出	355	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-
氟苯尼考(以氟苯尼考与氟苯尼考胺之和计)	≤1000	355	7	1.97	0	0.00	17.70~652.00	226.00	574.00	613.00	223.95
磺胺类(总量)	≤100	355	4	1.13	0	0.00	8.97~66.30	38.00	64.22	65.26	37.82
甲氧苄啶	≤50	355	2	0.56	0	0.00	40.70~41.9	41.30	41.84	41.87	41.30
呋喃唑酮代谢物	不得检出	355	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-
呋喃西林代谢物	不得检出	355	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-
呋喃妥因代谢物	不得检出	355	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-
甲硝唑	不得检出	355	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-
地西泮	不得检出	355	2	0.56	2	0.56	2.79~2.87	2.83	2.87	2.87	2.83
五氯酚酸钠(以五氯酚计)	不得检出	355	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-
孔雀石绿(以孔雀石绿与隐色孔雀石绿之和计)	不得检出	355	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-

注: -表示无此项, 表 4 同。

表 4 不同种类淡水鱼中兽药残留检测结果

Table 4 Detection results of veterinary drug residues in different types of freshwater fish

检测项目	样品类别	样品数/份	检出数/份	检出率/%	超标数/份	超标率/%	检出含量/(μg/kg)	
							范围	平均值
恩诺沙星(以恩诺沙星与环丙沙星之和计)	鳊鱼	75	66	88.00	13	17.33	3.23~1350.00	112.27
	黑鱼	99	68	68.69	1	1.01	2.13~162.00	13.97
	鲫鱼	150	93	62.00	5	3.33	2.08~392.00	39.06
	鲈鱼	31	25	80.65	0	0.00	2.17~75.00	18.91
沙拉沙星	鳊鱼	75	0	0.00	0	0.00	-	-
	黑鱼	99	4	4.04	0	0.00	2.28~28.10	14.00
	鲫鱼	150	0	0.00	0	0.00	-	-
	鲈鱼	31	0	0.00	0	0.00	-	-
氟苯尼考(以氟苯尼考与氟苯尼考胺之和计)	鳊鱼	75	2	2.67	0	0.00	17.70~21.45	19.57
	黑鱼	99	5	5.05	0	0.00	29.50~652.00	305.70
	鲫鱼	150	0	0.00	0	0.00	-	-
	鲈鱼	31	0	0.00	0	0.00	-	-

表 4(续)

检测项目	样品类别	样品数/份	检出数/份	检出率/%	超标数/份	超标率/%	检出含量/(μg/kg)	
							范围	平均值
磺胺类(总量)	鳊鱼	75	2	2.67	0	0.00	8.97~52.40	30.69
	黑鱼	99	0	0.00	0	0.00	-	-
	鲫鱼	150	1	0.67	0	0.00	66.30	66.30
	鲈鱼	31	1	3.23	0	0.00	23.60	23.60
甲氧苄啶	鳊鱼	75	0	0.00	0	0.00	-	-
	黑鱼	99	2	2.02	0	0.00	40.70~41.90	41.30
	鲫鱼	150	0	0.00	0	0.00	-	-
	鲈鱼	31	0	0.00	0	0.00	-	-
地西泮	鳊鱼	75	0	0.00	0	0.00	-	-
	黑鱼	99	0	0.00	0	0.00	-	-
	鲫鱼	150	2	1.33	2	1.33	2.79~2.87	2.83
	鲈鱼	31	0	0.00	0	0.00	-	-

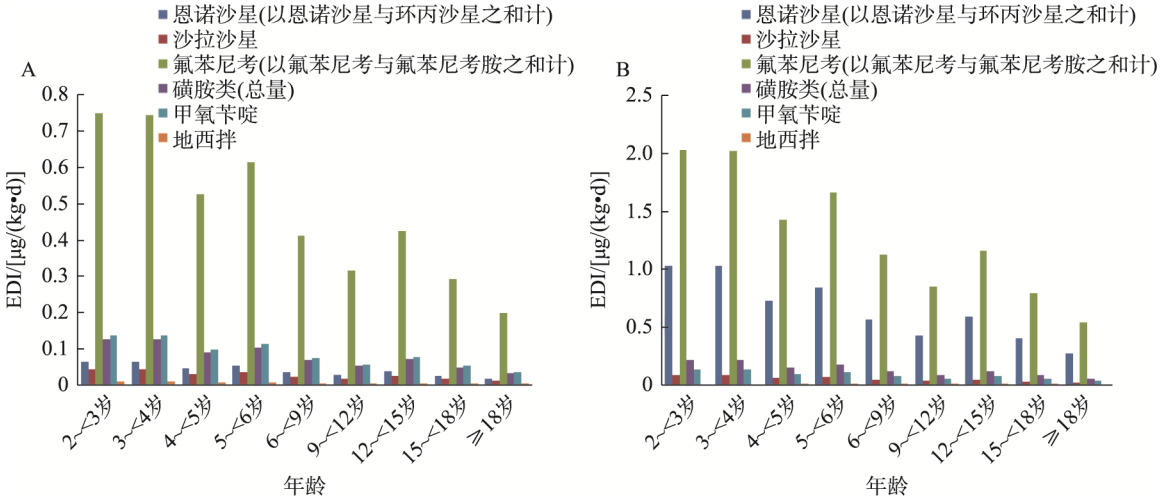


图 1　不同年龄组居民经淡水鱼摄入兽药残留的普通(A)和高(B)膳食暴露量

Fig.1　General (A) and high (B) dietary exposure levels of veterinary drug residues through freshwater fish among different age groups

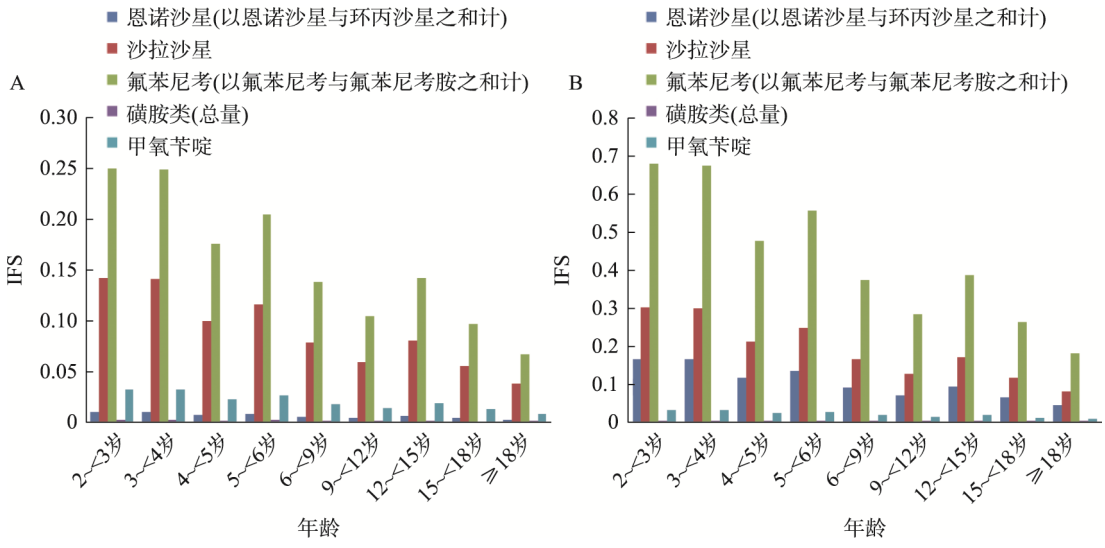


图 2　不同年龄组居民经淡水鱼摄入兽药残留的普通(A)和高(B)膳食暴露 IFS

Fig.2　General (A) and high (B) dietary exposure assessment IFS of veterinary drug residues through freshwater fish among different age groups

3 讨论与结论

3.1 兽药残留总体检出与用药现状分析

本研究对太仓地区 2025 年 4 种市售淡水鱼样品中兽药残留进行检测，355 件淡水鱼样品中兽药残留的检出率为 72.39%，超标率为 5.92%，且 2 例检出禁用药物地西泮，该药物为镇静催眠类药物，在水产品中不得检出，其检出不仅反映出存在违法使用违禁药物的行为，还可能通过水体污染、生物富集对人体中枢神经产生潜在危害，同时也暴露出养殖端甚至人工饵料用药监管存在盲区[20]。

整体检出结果表明淡水鱼中兽药的使用较为普遍，违规用药或用药后休药期不足的情况仍然存在，但整体超标风险处于可控范围。检出 2 种兽药的比例为 3.94%(14/355)，超标样品同时检出 2 种兽药的比例为 0.85%(3/355)，表明兽药联合用药的现象并不普遍，单一用药仍是当前养殖环节的主要用药模式。

3.2 兽药残留检出差异与可能原因分析

4 种淡水鱼兽药残留检出率均超过 60%，从高到低依次为鳊鱼(88.00%)、鲈鱼(80.65%)、黑鱼(71.72%)和鲫鱼(63.33%)，整体处于较高水平，主要原因可能是养殖户为降低病害风险、提升养殖效益和产量，进行更为频繁的预防性和治疗性用药；不同品种之间检出率存在差异，或与用药剂量、药物特性、鱼类栖息水层、摄食习性、抗病能力及养殖模式等多种因素有关[13,21–24]。

本研究中 16 种兽药恩诺沙星(以恩诺沙星与环丙沙星之和计)的检出率和超标率最高，分别为 70.99%和 5.35%，其余兽药检出率均小于 2%。与近年国内其他研究对比[14,15,25–26]，均发现喹诺酮类兽药残留现象，且恩诺沙星检出最多，说明恩诺沙星在水产养殖和运输过程中被广泛使用。但本研究中恩诺沙星(以恩诺沙星与环丙沙星之和计)检出率偏高，兽药检出种类、整体检出情况及超标情况也存在一定差异。结合各研究背景及区域养殖特点，推测造成该差异的因素是多方面的[13–15,26–27]，(1)不同研究采集的淡水鱼品种不同，其生理特性、养殖模式和抗病能力等差异影响养殖过程中兽药使用频率、给药剂量及给药方式，进而影响残留水平；(2)地区养殖规模与产业布局差异，本研究所在地江苏省养殖规模大、集约化更高，兽药使用更普遍、覆盖范围更广，整体管控难度相应增加，易出现残留检出率偏高；(3)不同年份及地区在政策执行、技术推广及规范用药意识方面存在差异，加之养殖环境(如水体、气温)变化对兽药代谢、残留积累的影响，导致恩诺沙星残留程度波动，最终表现为检出率的差异。

3.3 膳食暴露风险与敏感人群安全性分析

本研究评估结果显示，太仓地区居民每日经淡水鱼摄入兽药残留膳食暴露量处于较低水平，总体健康风险较低。但 2~5 岁的儿童组中兽药残留的普通和高暴露量均高于其他年龄组，原因可能是该年龄段儿童体重较轻，单位体重对应的淡水鱼摄入量相对更高，且儿童肝脏、肾脏等代谢器官尚未发育成熟[28]，对兽药的代谢解毒能力较弱，导致兽药残留更易在体内蓄积，其健康风险值得关注。长期低剂量暴露可能对儿童、孕妇等敏感人群产生累积效应，并存在诱导抗生素耐药的风险，尤其是检出率和超标率较高的恩诺沙星(以恩诺沙星与环丙沙星之和计)，其潜在风险需予以重视。

3.4 国内外水产品兽药残留标准体系对比

我国现行 GB 31650—2019 及增补版 GB 31650.1—2022 共规定恩诺沙星等 31 种兽药在水产品中的最大残留限量(maximum residue limit，MRL)，主要覆盖鱼类(GB 31650.1—2022 新增鲑鱼、鳟鱼)；同时农业农村部公告第 250 号明确了 21 种禁用药品。国际层面，国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)于 2023 年更新《食品中兽药残留的最大残留限量和风险管控建议》(CX/MAL 2-2023)，仅规定 10 种兽药的 MRL，未包含我国常用的恩诺沙星、氟苯尼考等，适用水产动物包括鱼、鳍鱼、三文鱼、鳟鱼、草虾。欧盟(European Union, EU)于 2009 年通过(EU)No 37/2010《食品中药物最大残留限量》条例，涉及水产品兽药 MRL40 项，其中恩诺沙星、磺胺类等限量值及氯霉素、甲硝唑等禁用药物与我国标准(GB 31650—2019、农业农村部公告 第 250 号)基本一致，沙拉沙星等部分兽药的 MRL 指标较我国更为严格。美国联邦法规第 21 篇第 556 章规定了 41 药品在鱼类中的 MRL，其中我国已制定标准而美国未制定的渔用抗菌药有 20 种，两国氟苯尼考 MRL 标准一致，均禁用氯霉素、硝基呋喃类药物，磺胺类药物的标准覆盖种类略有差异，而部分药物如氟喹诺酮类在我国限用而美国禁用，其适用水产动物多为虾类、鲶鱼、鲑鱼、鳟鱼等[29–31]。综合国内外限量标准对比可知，我国已构建较为完善的水产品兽药残留限量体系，但仍存不足，部分水产药物尚未制定 MRL；贝类、甲壳类等多种我国优势水产品缺乏明确的限量规定，建议借鉴国际先进标准经验，结合我国水产品产业实际，完善相关兽药限用、禁用标准及 MRL 规定。

3.5 研究局限性与后续优化方向

本研究采用 2015 年前的水产品消费和体质量数据进行估算，随着社会经济发展、膳食结构调整及水产养殖模式的优化，居民水产品消费习惯、消费频次及消费总量已发生一定变化，基于历史数据得出的暴露风险估算结果，可能无法准确反映当前实际暴露情况。同时，本研究仅选取 4 种淡水鱼和 16 种兽药，未涵盖海水鱼、甲壳类、贝类等其他水产品，也未涉及当前养殖环节可能使用的其他兽药，样本和检测范围有限，难以全面、客观地反映区域内

各类水产品兽药残留的整体污染特征与潜在风险水平。此外, 部分兽药缺少 ADI, 未能进行风险量化评估, 一定程度上影响了评估结果的完整性与准确性。本研究亦未考虑煎、煮、蒸、炸等不同烹饪方式对兽药残留的影响, 不同工艺的温度、时长及处理方式可能导致残留发生降解、迁移或转化, 进而改变实际摄入量[32], 因此, 基于生鲜鱼类样品估算的兽药摄入量与实际摄入量之间可能存在偏差, 可能降低风险评估结果的真实性与可靠性。后续研究可在此基础上进一步优化完善, (1)扩大研究样本范围与检测维度, 增加水产品种类与兽药品种, 提升研究结果的代表性与全面性; (2)更新居民水产品消费等数据, 提高风险评估的时效性与准确性; (3)系统收集各类兽药 ADI, 或通过毒理学试验补充相关参数, 完善风险量化评估方法, 实现对目标兽药的全面精准评估; (4)引入不同烹饪方式的加工因子, 研究常见烹饪工艺对兽药残留量的影响规律, 将加工因子纳入暴露评估模型, 优化评估体系, 提升结果科学性与可靠性。通过上述改进, 可更为系统、全面地开展养殖水产品兽药残留膳食暴露风险评估, 为居民膳食指导、水产养殖用药监管及相关政策制定提供更科学、可靠的理论支撑。

参考文献

[1] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2025 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2025: 17-18.
Fisheries Administration Bureau, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2025 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2025: 17-18.

[2] 中国营养学会. 中国居民膳食指南科学研究报告(2021)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2022: 9-10.
Chinese Nutrition Society. Scientific research report on dietary guidelines for Chinese residents (2021) [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2022: 9-10.

[3] Chen Jiemin, Sun Runxia, Pan Changgui, et al. Antibiotics and food safety in aquaculture [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(43): 11908–11919.

[4] Føre M, Alver M O, Alfredsen J A, et al. Digital Twins in intensive aquaculture: challenges, opportunities and future prospects [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2024, 218: 108676.

[5] Shen Haitao, Pan Xiaodong, Han Jianlong. 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.

[6] Liu Yongtao, Ai Xiaohui, Sun Ruyu, et al. Residue, biotransformation, risk assessment and withdrawal time of enrofloxacin in red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) [J]. Chemosphere, 2022, 307: 135657.

[7] Huang Liangliang, Mo Yuanmin, Wu Zhiqiang, 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: 15777.

[8] Suryoprabowo S, Nasyiruddin R L, Wang Zhongxing, et al. A comprehensive review on the pretreatment and detection methods of fluoroquinolones in food and environment [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2025, 140: 107179.

[9] Zhang Chaoying, Wang Huijiao, Mu Yingchun, et al. A method for simultaneously and accurately quantify seven quinolones in matrix reference materials by HPLC-MS [J]. Microchemical Journal, 2024, 204: 110984.

[10] 李总领, 李凌光, 陈沅, 等. 探讨兽药残留的种类及危害[J]. 中兽医学杂志, 2019(5): 83.
Li Zongling, Li Lingguang, Chen Yuan, et al. Discussion on the types and harm of veterinary drug residues [J]. Chinese Journal of Traditional Veterinary Science, 2019(5): 83.

[11] 曲梅, 田祎, 黄瑛, 等. 2018—2021 年北京市沙门菌血清型及喹诺酮类耐药表型和基因型分析[J]. 现代预防医学, 2022, 49(13): 2413–2419.
Qu Mei, Tian Yi, Huang Ying, et al. Serotypes and quinolone resistant phenotypes and genotypes of *Salmonella strains* in Beijing, 2018-2021 [J]. Modern Preventive Medicine, 2022, 49(13): 2413–2419.

[12] 胡海燕, 朱明文, 胡昊. 动物源食品中兽药残留监管监测现状及其对策[J]. 中国兽药杂志, 2011, 45(8): 38–42.
Hu Haiyan, Zhu Mingwen, Hu Hao. Status and countermeasures about control and determination of veterinary drug residues in animal derived foods [J]. Chinese Journal of Veterinary Drug, 2011, 45(8): 38–42.

[13] 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 Xiao, Zhang Chen, Cao Min, 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.

[14] 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 Shenghao, Li Yiqi, Peng Shaojie. 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.

[15] 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 Yongyue, Lv Gongjin, Chen Gaoshang, 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.

[16] 环境保护部. 中国人群暴露手册(儿童卷: 0~5 岁)[M]. 北京: 中国环境出版社, 2016: 276, 1025.
Ministry of Environmental Protection. Exposure factors handbook of Chinese population(0-5 years) [M]. Beijing: China Environmental Press, 2016: 276, 1025.

[17] 环境保护部. 中国人群暴露手册(儿童卷: 6~17 岁)[M]. 北京: 中国环境出版社, 2016: 318, 856.
Ministry of Environmental Protection. Exposure factors handbook of Chinese population(6-17 years) [M]. Beijing: China Environmental Press, 2016: 318, 856.

[18] 环境保护部. 中国人群暴露手册(成人卷)[M]. 北京: 中国环境出版社, 2013: 246, 760.

Ministry of Environmental Protection. Exposure factors handbook of Chinese population [M]. Beijing: China Environmental Press, 2013: 246, 760.

[19] 联合国粮农组织. 食品中化学物风险评估原则和方法[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2012: 177-227.
Food, Agriculture Organization of the United Nations. Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2012: 177-227.

[20] 王鼎南, 王扬, 戴一科, 等. 2021—2024 年浙江省淡水鱼和饮用水中地西泮污染水平和膳食暴露风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(22): 329–336.
Wang Dingnan, Wang Yang, Dai Yike, et al. Pollution level and dietary exposure risk assessment of diazepam in freshwater fish and drinking water in Zhejiang Province from 2021 to 2024 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(22): 329–336.

[21] Liu Sisi, Zhao Hongxia, Lehmler H J, et al. Antibiotic pollution in marine food webs in Laizhou Bay, North China: trophodynamics and human exposure implication [J]. Environmental Science & Technology, 2017, 51(4): 2392–2400.

[22] 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]. 济南: 山东大学, 2023: 4.
Hu Tao. Bioaccumulation and trophic transfer of antibiotics in aquatic and terrestrial habitats in the yellow river delta [D]. Jinan: Shandong University, 2023: 4.

[23] 于化泓, 甘兴华. 几种淡水鱼血清免疫复合物含量与其抗病能力关系的研究[J]. 江西水产科技, 1998(3): 13–15.
Yu Huahong, Gan Xinghua. Study on circulating immune immune complexes amounts of several freshwater fish [J]. Jiangxi Fishery Science and Technology, 1998(3): 13–15.

[24] Bao Rong, Yang Yan, Chen Hongjing, 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.

[25] 张利锋, 翟志雷, 杨瑞春, 等. 2021—2024 年河南省市售淡水鱼兽药残留监测及暴露风险评估[J]. 现代预防医学, 2025, 52(15): 2755–2760.
Zhang Lifeng, Zhai Zhilei, Yang Ruichun, et al. Veterinary drug residue monitoring and exposure risk assessment of freshwater fishes on sale in Henan Province from 2021 to 2024 [J]. Modern Preventive Medicine, 2025, 52(15): 2755–2760.

[26] 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.

[27] 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 Qi, Wang Yafang, Li Lei, 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.

[28] 赵勇宏. 论儿童抗生素的合理应用[J]. 临床心身疾病杂志, 2015, 21(增刊 2): 268.
Zhao Yonghong. On the rational use of antibiotics in children [J]. Journal of Clinical Psychosomatic Diseases, 2015, 21(S2): 268.

[29] 吴海燕, 张志华, 朱文嘉, 等. 水产品中兽药残留限量标准的对比分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(18): 4877–4884.
Wu Haiyan, Zhang Zhihua, Zhu Wenjia, et al. Comparative analysis of veterinary drug maximum residue limits of aquatic products [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 9(18): 4877–4884.

[30] 崔雅楠, 杨臻, 乔璐, 等. 中国与主要贸易国水产品中渔用抗菌药残留限量标准和管理措施对比分析[J]. 中国农学通报, 2021, 37(36): 155–164.
Cui Yanan, Yang Zhen, Qiao Lu, et al. Comparative analysis of antibacterials residue limit standards and management measures in aquatic products between China and major trading countries [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(36): 155–164.

[31] 马叶涵, 王真, 王亦琳, 等. 水产食品动物中兽药残留现状分析及思考[J]. 畜牧与兽医, 2024, 56(12): 110–117.
Ma Yehan, Wang Zhen, Wang Yilin, et al. Analysis of and reflection on the current situation of veterinary drug residues in aquatic food animals [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2024, 56(12): 110–117.

[32] 杜俊琪, 苟静, 谢碧秀, 等. 加工和储存对动物源食品中兽药残留降解的影响[J]. 食品工业, 2023, 44(11): 190–196.
Du Junqi, Gou Jing, Xie Bixiu, et al. The effects of processing and storage on the degradation of veterinary drug residues in animal-derived foods [J]. The Food Industry, 2023, 44(11): 190–196.

(责任编辑: 曹岱琳 韩晓红)