

市售水产品中恩诺沙星残留特征及膳食暴露概率风险评估

刘佳怡¹, 孙 蕾^{1,2}, 蒋 宁^{1*}

¹华北理工大学公共卫生学院, 河北 唐山

²唐山市路北区疾病预防控制中心(唐山市路北区卫生监督所), 河北 唐山

收稿日期: 2026年8月3日; 录用日期: 2026年9月1日; 发布日期: 2026年9月14日

摘 要

目的: 了解某市市售水产品中恩诺沙星的残留特征, 评估不同性别、年龄组人群恩诺沙星的膳食暴露风险。方法: 在东南部某市部分水产品售卖场所于2021年5月至2022年4月进行现场随机抽样, 采用高效液相色谱-串联质谱法测定水产品中恩诺沙星的残留含量; 基于Crystal Ball软件, 运用蒙特卡洛法结合风险熵法, 分别对不同性别及年龄组人群通过不同种类水产品摄入恩诺沙星的膳食暴露风险进行评估。结果: 检测样品2825份。恩诺沙星在鱼类和贝类的平均含量较高。其整体超标率为1.42%, 且在四类水产品中的超标率差异具有统计学意义($P < 0.01$)。根据风险评估结果, 所有被检水产品中由恩诺沙星暴露所致的风险熵的值均远低于安全阈值1。就年龄与性别差异而言, 3~11岁组中女性的风险熵高于同组男性, 而12岁及以上组则男性高于女性。此外, 风险熵最高点落在3~5岁年龄段, 最低点则出现在12~17岁年龄段。结论: 不同种类水产品中残留的恩诺沙星对各性别、年龄组人群的膳食暴露风险均在可接受范围内, 风险较低。

关键词

恩诺沙星, 药物残留, 概率评估, 膳食暴露风险

Residue Characteristics of Enrofloxacin in Commercially Available Aquatic Products and Probability Risk Assessment of Dietary Exposure

Jiayi Liu¹, Lei Sun^{1,2}, Ning Jiang^{1*}

¹School of Public Health, North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

²Center for Disease Control and Prevention, Lubei District, Tangshan Hebei

*通讯作者。

文章引用: 刘佳怡, 孙蕾, 蒋宁. 市售水产品中恩诺沙星残留特征及膳食暴露概率风险评估[J]. 食品与营养科学, 2026, 15(5): 569-577. DOI: 10.12677/hjfn.2026.155060

Abstract

Objective: To investigate the residual characteristics of enrofloxacin in aquatic products sold in a city, and to evaluate the dietary exposure risk of enrofloxacin in different gender and age groups. **Methods:** From May 2021 to April 2022, on-site random sampling was conducted in some aquatic products selling places in a city in southeastern China, and the residual content of enrofloxacin in aquatic products was determined by HPLC/tandem mass spectrometry. Monte Carlo method based on Crystal Ball software and risk entropy method were used to assess the dietary exposure risk of enrofloxacin in different types of aquatic products for different genders and age groups. **Results:** 2825 samples were detected. Enrofloxacin is found in higher average concentrations in fish and shellfish. The overall exceedance rate of enrofloxacin was 1.42%, and there was statistical significance in the exceedance rate of enrofloxacin among the four types of aquatic products ($P < 0.01$). The results of risk assessment showed that the risk entropy of enrofloxacin exposure in several types of aquatic products was far less than 1. Regarding gender and age differences, females in the 3~11 years group had higher risk quotients than males in the same group, whereas males aged 12 years and above had higher risk quotients than females. The risk entropy of 3 to 5-year-olds was the highest, and that of 12 to 17-year-olds was the lowest. **Conclusion:** The dietary exposure risk of enrofloxacin residues in different kinds of aquatic products is within the acceptable range for all genders and age groups, and the risk is low.

Keywords

Enrofloxacin, Drug Residue, Probability Assessment, Dietary Exposure Risk

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着社会经济的发展、健康饮食知识的普及，人们越来越关注饮食的健康和营养。水产品因味道鲜美、富含营养物质而备受人们的青睐，其消费量逐年升高。近年来，抗生素被广泛应用于水产养殖业[1]，其中恩诺沙星因抗菌谱广、杀菌效果强[2] [3]，是唯一能在水产养殖过程中限量使用的喹诺酮类抗生素。水产品内的恩诺沙星及其代谢物环丙沙星可经食物链传递至人体，如果大剂量摄入会产生恶心、头痛等中枢神经系统症状和肝肾等器官损害[4] [5]，从而危害人体健康。

目前对药物残留的研究大多集中在残留量检出情况和新检测方法的开发[6]-[10]。对药物残留的风险评估相对较少，常使用点评估法，研究对象也主要集中在部分种类养殖品种或样本量较小的某种药物残留[11]-[15]。点评估法虽然简单易行，但只是基于少量数据进行保守估计，并不能提供暴露量的可能范围。国内外一些学者如王睿等尝试通过概率暴露评估法，分别对禽蛋抗菌药物、食品添加剂、水产品重金属、蔬菜有机磷农药等膳食暴露进行风险评估，可通过蒙特卡洛法得到大量随机抽样样品的膳食暴露量分布情况[16]-[19]，但该方法用于水产品中药物残留的研究还比较少见。

基于此，本研究选择我国常住人口约 1900 万人、水产消费量居全国前列的东南部某沿海大型港口城市作为研究对象，使用蒙特卡洛概率评估法，结合不同性别、年龄组人群的各类水产品人均日摄入量和

体重等参数, 对该市鱼、虾、蟹、贝四类水产品中恩诺沙星的药物残留进行膳食暴露风险评估, 从而提出针对性的监管建议, 为水产品中药物残留膳食风险评估的研究提供可行性思路。

2. 材料与方法

2.1. 样品采集

样品采集自 2021 年 5 月至 2022 年 4 月, 采集区域为我国东南沿海某城市内的大中型综合超市、传统集贸市场及餐饮服务单位等水产品销售终端。每月按上、中、下三旬分批采样, 每旬内随机选取 3 至 4 天作为具体采集日; 每日鱼类样本量为 10~13 份, 而贝类与甲壳类则各取 3~4 份。所有样品经编号后置于专用采集袋, 加冰保存并运回实验室, 随即存放于-20℃冷冻柜内待测。为确保结果可靠性, 从采样到完成检测的间隔严格控制在 72 小时以内。各品类样本数量分别为: 鱼类 1828 份、虾类 242 份、蟹类 251 份、贝类 504 份, 总计 2825 份。

2.2. 主要仪器与试剂

2.2.1. 主要仪器

AB Sciex 5500 三重四极杆质谱仪; Transcend TLX 在线净化系统(Thermo Fisher); Q-Exactive 液相色谱高分辨质谱联用仪(Thermo Fisher); 静电轨道阱质谱分析系统(美国 Thermo Fisher)。

2.2.2. 主要试剂

恩诺沙星、环丙沙星等标准品, 购自中国计量科学研究院; 其他所用试剂均为分析纯及以上。

2.3. 样品检测和结果判定

按照《中华人民共和国农业部公告 第 1077 号》[20]的高效液相色谱-串联质谱法对水产品中恩诺沙星和环丙沙星进行样品前处理和含量检测, 检出限皆为 2.0 µg/kg。《食品安全国家标准食品中兽药最大残留限量》(GB 31650-2019) [21]规定在水产品中, 恩诺沙星残留标志物为恩诺沙星与其代谢物环丙沙星之和, 其最大残留限量值为 100 µg/kg。因环丙沙星为恩诺沙星的代谢产物, 所以在计算检出率、超标率和后期风险评估时归属到恩诺沙星进行研究。恩诺沙星的每日允许摄入量 ADI 为 6.2 µg/kg [21]。

2.4. 统计学分析方法

将数据录入 Excel 2010 建立数据库, 检测结果低于检出限(Limit of detection, LOD)的样品, 根据世界卫生组织推荐的替代法, 其药物残留含量取 1/2 LOD 录入, 应用 SPSS 23.0 软件进行描述分析。在本研究中采用均数和标准差来表示水产品中药物残留污染物含量的分布情况, 利用 Pearson χ^2 检验或 Fisher 确切概率法比较各药物残留的超标率在四类水产品是否存在差异, $P < 0.05$ 时可认为差异具有统计学意义。

2.5. 膳食暴露风险评估方法

2.5.1. 风险熵的计算

1) 膳食暴露量的计算

通过公式(1)得到居民药物残留的日均膳食暴露量(Estimated Daily Intake, EDI), 其公式为:

$$EDI = \frac{C \times DFI}{BW} \quad (1)$$

式中: EDI 为单位体质量每日平均膳食暴露量, µg/kg; C 为水产品中药物残留的含量, µg/kg; DFI 为水产品每日摄入量, kg; BW 为平均体质量, kg。

2) 风险熵的计算

采用风险熵作为对于风险评估的评价参数，其公式为：

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

式中：HQ 为风险熵；ADI 为每日允许摄入量， $\mu\text{g/kg}$ 。

当 $HQ < 1$ 时，认为该药物残留对人群的膳食暴露风险较小，尚可接受；当 $HQ \geq 1$ 时，则认为该药物残留对人群的膳食暴露风险不可接受，且 HQ 越大，造成的膳食暴露风险越大[22]。

2.5.2. 不同性别、年龄人群的平均体重数据和水产品的人均日摄入量

依据《中国居民营养与慢性病状况报告(2020 年)》及《中国营养与健康状况调查(1982~2017)》中东部地区人群统计资料[23][24]，并参照苏畅[25]等学者关于水产品消费结构的研究成果，将总摄入量按类别进行拆分，其中鱼类占 78.7%、虾类占 6.9%、贝类与蟹类合占 5.1%(二者在本研究中各计 2.55%)，其余 9.3%归属其他水产品，由此推算出各年龄 - 性别亚组的平均体重及水产品的人均日摄入量。

2.5.3. 基于蒙特卡洛概率模拟的膳食暴露风险评估(按性别 - 年龄分层)

1) 确定不同种类水产品药物残留含量的最优拟合分布

针对存在残留超标情况的水产品品种，采用蒙特卡洛随机模拟方法对其恩诺沙星含量数据进行概率分布拟合，并运用 Anderson-Darling、Kolmogorov-Smirnov 及卡方三种检验准则逐一验证各候选分布的适配性，最终择优选取拟合效果最为理想的分布函数。

各类水产品中药物残留含量拟合概率分布，从分布拟合结果可以看出，鱼类、贝类的恩诺沙星残留含量符合对数正态分布，虾类恩诺沙星残留含量满足逻辑分布。

2) 膳食暴露风险评估

得到恩诺沙星含量的最优分布后，结合水产品恩诺沙星的日均暴露量、风险熵构建概率风险评估模型。针对不同性别及年龄层人群，本研究对其所消费水产品中恩诺沙星的残留量展开经膳食途径的暴露风险评价。在评估过程中，借助 Crystal Ball 软件平台，运用蒙特卡洛随机模拟算法进行大量迭代运算。每个模拟抽样过程进行 10,000 次迭代。

3. 结果

3.1. 不同种类水产品中恩诺沙星的残留情况

四类水产样本的检测结果显示，恩诺沙星的总体阳性检出比例为 18.53%，其残留浓度跨度极大，从无法定量到峰值 10510.50 $\mu\text{g/kg}$ 不等，平均残留水平为 14.34 $\mu\text{g/kg}$ ，而超过规定限量标准的样品占比为 1.42%。

各类水产品的具体残留分布详见表 1。所有四个类别中均能检测到该药物，其中贝类样本观测到的最高残留值居于首位。按超标频率从高到低排序，依次为鱼类、虾类、贝类及蟹类。经 Fisher 精确概率检验，不同类别间的超标率差异具有高度统计学意义($P < 0.01$)。

Table 1. Residual concentrations of enrofloxacin in four categories of aquatic products

表 1. 四类水产品中恩诺沙星的残留情况

水产品种类	n	范围($\mu\text{g/kg}$)	$\bar{x} \pm s$ ($\mu\text{g/kg}$)	超标批次	超标率(%)	P
鱼类	1828	ND~2528.00	13.68 ± 93.25	35	1.91	<0.01
虾类	242	ND~200.10	5.61 ± 20.36	3	1.24	
蟹类	251	ND~22.70	2.37 ± 2.15	0	0.00	
贝类	504	ND~10510.50	23.61 ± 468.13	2	0.40	

3.2. 居民通过水产品膳食摄入恩诺沙星的风险评估

3.2.1. 不同年龄组人群膳食摄入不同种类水产品恩诺沙星的日暴露量概率

依据检测结果，鱼类、虾类和贝类中的恩诺沙星残留水平有超过安全标准的现象，故在评估时仅选取这三个类别进行膳食摄入量的估算。表 2~4 所列数据表明，所有按性别与年龄划分的人群，经由食用上述水产品的膳食暴露量，均未触及每日 6.2 μg/kg 的每日允许摄入量。在各年龄层中，3~5 岁儿童的膳食暴露量居首，而 12~17 岁男女群体的相应数值则处于最末端。

Table 2. Estimated daily intake (EDI) of enrofloxacin via fish consumption among residents, stratified by sex and age group (×10⁻³ μg/kg)

表 2. 不同性别、年龄组居民摄入鱼类中恩诺沙星的 EDI 分布(×10⁻³ μg/kg)

分组			EDI					
年龄(岁)	性别	平均值	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₀	P ₉₅	P _{97.5}	P ₉₉
3~5	男	4.12	2.31	4.81	8.88	13.15	18.23	27.86
	女	4.24	2.41	4.99	9.41	13.75	19.30	28.23
6~11	男	3.76	2.16	4.42	8.43	12.21	17.39	25.30
	女	4.03	2.33	4.71	8.94	13.15	17.80	25.96
12~17	男	2.56	1.44	2.96	5.66	8.60	12.01	17.55
	女	2.38	1.36	2.73	5.15	7.71	10.89	16.54
18~59	男	3.22	1.86	3.80	7.19	10.49	14.74	20.81
	女	3.10	1.75	3.64	6.81	9.82	13.95	20.45
60 及以上	男	3.15	1.81	3.64	6.89	9.82	14.40	20.92
	女	2.91	1.66	3.38	6.49	9.54	13.36	20.19

Table 3. Estimated daily intake (EDI) of enrofloxacin via shrimp consumption among residents, stratified by sex and age group (×10⁻⁴ μg/kg)

表 3. 不同性别、年龄组居民摄入虾类中恩诺沙星的 EDI 分布(×10⁻⁴ μg/kg)

分组			EDI					
年龄(岁)	性别	平均值	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₀	P ₉₅	P _{97.5}	P ₉₉
3~5	男	1.52	1.51	4.72	8.00	10.29	12.39	15.06
	女	1.54	1.59	4.92	8.11	10.35	12.33	14.69
6~11	男	0.14	1.41	4.40	7.35	9.24	11.26	13.93
	女	1.51	1.53	4.77	8.05	10.18	12.23	14.70
12~17	男	0.99	0.98	2.98	5.03	6.40	7.63	9.28
	女	0.87	0.85	2.72	4.52	5.77	6.97	8.70
18~59	男	1.24	1.23	3.79	6.32	8.13	9.90	11.79
	女	1.25	1.25	3.70	6.02	7.77	9.41	11.30
60 及以上	男	1.22	1.23	3.74	6.22	8.03	9.81	11.95
	女	1.10	1.07	3.35	5.75	7.35	8.78	10.44

Table 4. Estimated daily intake (EDI) of enrofloxacin via shellfish consumption among residents, stratified by sex and age group ($\times 10^{-5}$ $\mu\text{g}/\text{kg}$)

表 4. 不同性别年龄组居民摄入贝类中恩诺沙星的 EDI 分布($\times 10^{-5}$ $\mu\text{g}/\text{kg}$)

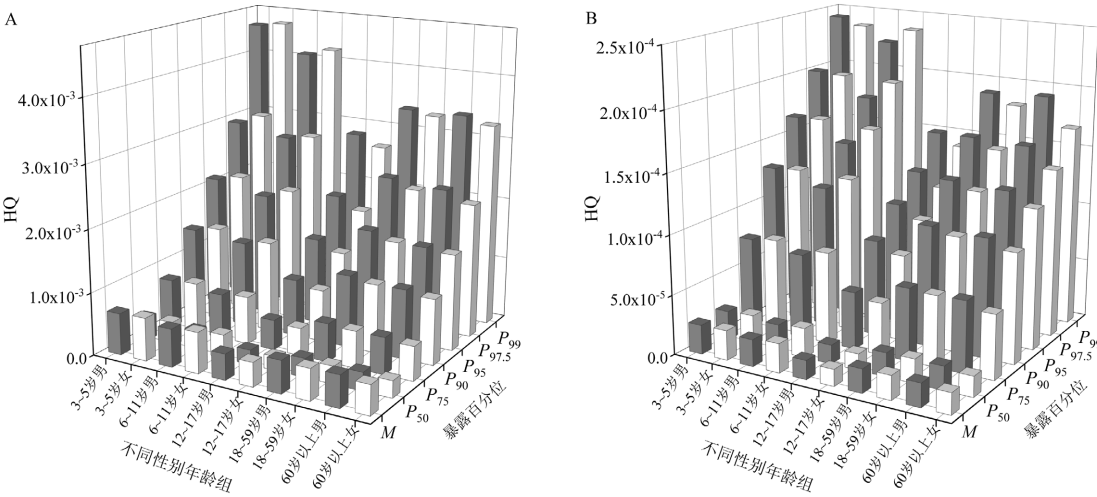
分组		EDI						
年龄(岁)	性别	平均值	P_{50}	P_{75}	P_{90}	P_{95}	$P_{97.5}$	P_{99}
3~5	男	5.72	4.94	7.15	9.88	11.95	14.08	16.95
	女	5.85	5.07	7.24	9.97	12.22	14.81	17.77
6~11	男	5.31	4.62	6.61	9.10	11.17	13.10	15.91
	女	5.79	5.01	7.23	9.88	12.00	14.18	17.92
12~17	男	3.58	3.09	4.42	6.05	7.35	8.84	10.92
	女	3.31	2.86	4.10	5.70	6.91	7.98	9.92
18~59	男	4.54	3.96	5.64	7.79	9.44	11.18	13.17
	女	4.32	3.74	5.40	7.32	8.94	10.64	12.97
60 及以上	男	4.48	3.86	5.59	7.72	9.23	10.98	13.44
	女	4.13	3.58	5.10	7.16	8.63	10.24	12.48

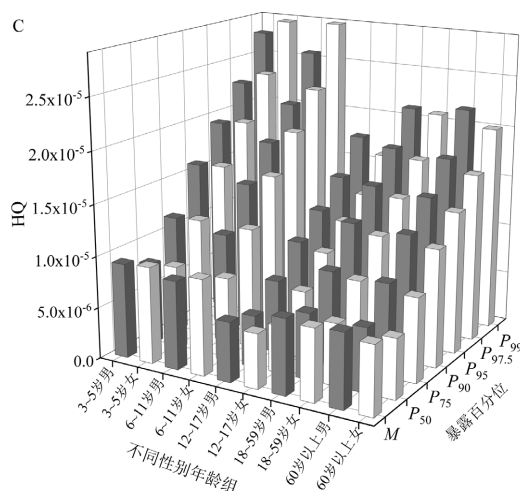
3.2.2. 不同年龄组人群膳食摄入不同种类水产品恩诺沙星的风险概率评估

图 1 结果表明,在全部性别与年龄组合中,通过食用鱼、虾及贝类所摄入的恩诺沙星,其 HQ 的平均水平及各个百分位点均低于临界值 1。就同性别内不同年龄段而言,3~5 岁幼童的 HQ 为最高,而 12~17 岁青少年的 HQ 则属最低。

关于鱼类和贝类,性别差异表现如下:在 3~5 岁和 6~11 岁两组中,女性的 HQ (含均值及所有百分位点)普遍高于男性;但在 12~17 岁、18~59 岁及 60 岁以上三组中,鱼类 HQ 的各项指标均为男性超过女性。

虾类的情况则依年龄组而变:3~5 岁组中,仅第 97.5 和 99 百分位点上男性高于女性,其余百分位点及均值均为女性更高;6~11 岁组所有指标均显示女性占优;12~17 岁组则全部为男性更高;18~59 岁组仅在均值和第 50 百分位点上女性高于男性,而其余较高百分位点男性反超;60 岁以上组的所有指标又均为男性领先。





注：A——鱼类；B——虾类；C——贝类。

Figure 1. Hazard quotients (HQs) of enrofloxacin from the consumption of fish, shrimp, and shellfish among residents, stratified by sex and age group

图 1. 不同性别年龄组居民摄入鱼类、虾类和贝类中恩诺沙星的 HQ

4. 讨论

本研究中水产品的恩诺沙星整体检出率为 18.53%，这与 Song 等人[26]的研究结果类似。恩诺沙星的整体超标率为 1.42%，略高于闽东地区恩诺沙星超标率的 0.61% [27]。针对鱼类、虾类及贝类三种水产品，恩诺沙星的残留水平皆有超出规定限值的现象，其中以鱼类的超出比例最高。这一趋势与柴丽月等学者[10][28][29]前期报道的结论具有一致性，反映出该药物在鱼类养殖及流通环节中的使用较为常见，提示恩诺沙星应作为鱼类水产品药物残留的重点监测项目。

以往研究中常用的点评估法，暴露量通常采用平均值、残留中值或最大残留等点值代替，消费量和体重取平均值，对评估人群年龄的分组一般为成年人和未成年人组。本研究在常规成年/未成年二分法基础上，进一步将受评估人群按性别和更细的年龄跨度划分为 10 个亚组，并运用蒙特卡洛模拟获取各亚组通过水产品途径摄入恩诺沙星的暴露剂量及相应的风险熵分布，进而系统比较不同水产品种类、不同药物残留在各亚组间的风险差异，以提升评估结果的精细度。所有亚组的风险熵均值均未超过 1，表明该市居民经由水产品摄入该药物的平均剂量处于可接受范围；尽管第 99 百分位风险熵较均值有所上升，但仍显著低于安全阈值 1，提示即使对于高消费人群，其暴露水平也未见明显健康隐患。这一结果与中国东南沿海等地区报道的风险熵小于 1、健康风险较低的结论相互印证[30][31]。就年龄分布规律而言，3~11 岁未成年人的风险熵普遍高于 18 岁以上成年人，但 12~17 岁年龄层的风险熵却略低于成年人，其中 3~5 岁幼童的风险熵为全人群最高；性别差异则表现为：在 3~5 岁和 6~11 岁两个低龄段中，女性的风险熵多高于男性，而在 12~17 岁、18~59 岁及 60 岁以上三个较高龄段中，男性的风险熵基本高于女性。尽管整体评估显示食用水产品所致恩诺沙星暴露风险较低，但仍建议将 3~5 岁儿童作为重点监测对象，加强其药物残留暴露的跟踪管理。

本评估采用的体重与消费量数据来源于《中国居民营养与慢性病状况报告(2020 年)》和《2015—2017 年中国居民营养与健康状况监测报告》[32]，涵盖东部地区不同性别、年龄组人群的体重及水产品摄入量，并针对东部地区人群特征进行了校准，因而具有一定的代表性。但受客观条件所限，未能同步开展目标城市居民膳食摄入的实时问卷调查，因此推算结果可能与当地当年实际人群体重及消费水平存在偏差。今后研究宜通过现场膳食调查获取更具地方针对性的消费参数，并拓展纳入猪肉、水果等其他高摄入食

品中的药物残留暴露, 以便更全面评估联合暴露对人类健康的潜在影响。

参考文献

- [1] 黄铢玉, 方龙香, 宋超, 等. 抗生素恩诺沙星在渔业中的研究进展[J]. 农学学报, 2019, 9(11): 57-62.
- [2] Jin, C.F., Ren, H.X., Du, J., Zhao, Y.X., Cheng, Y.Q., Wang, C.G., *et al.* (2020) Synthesis and Fluorescence Properties of Ofloxacin Rare-Earth Nanocomplexes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **770**, Article 012060. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/770/1/012060>
- [3] 焦安祥, 袁瑞金, 崔凌峰, 等. 动物性食品中氟喹诺酮类药物残留高效液相色谱检测方法的研究进展[J]. 中兽医杂志, 2019(6): 102.
- [4] Li, Z., Cui, Z., Tang, Y., Liu, X., Zhang, X., Liu, B., *et al.* (2019) Fluorometric Determination of Ciprofloxacin Using Molecularly Imprinted Polymer and Polystyrene Microparticles Doped with Europium(III) (DBM)₃phen. *Microchimica Acta*, **186**, Article No. 334. <https://doi.org/10.1007/s00604-019-3448-z>
- [5] Dolati, S., Ramezani, M., Nabavinia, M.S., Soheili, V., Abnous, K. and Taghdisi, S.M. (2018) Selection of Specific Aptamer against Enrofloxacin and Fabrication of Graphene Oxide Based Label-Free Fluorescent Assay. *Analytical Biochemistry*, **549**, 124-129. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2018.03.021>
- [6] 唐秀, 范广宇, 李配婷, 等. 分散固相萃取在动物源食品中喹诺酮类药物残留检测中的研究进展[J]. 食品科技, 2021, 46(9): 296-302.
- [7] 李倩, 王甲, 张玉洁, 等. 动物性食品中喹诺酮类药物残留检测方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(8): 3016-3022.
- [8] 黄婕, 薛咏兰, 徐洪, 等. 贵阳市市场常见淡水鱼体内氟喹诺酮类抗生素残留调查[J]. 环境与健康杂志, 2017, 34(2): 139-141.
- [9] 燕志. 扬州市水产品质量安全风险监测及小龙虾重金属风险评估[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2018.
- [10] 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+36.
- [11] 徐连伟, 赵彦涛, 曲婷婷, 等. 哈尔滨市水产品质量安全风险评估[J]. 黑龙江水产, 2018(1): 20-23.
- [12] 祁萍, 苟金明, 曹根宝. 宁夏地区鱼类孔雀石绿残留调查及风险评估[J]. 宁夏农林科技, 2018, 59(1): 30-32+42.
- [13] Liu, Y., Wang, F., Ai, X., Wang, Z., Yang, Q., Dong, J., *et al.* (2018) Residue Depletion and Risk Assessment of Niclosamide in Three Species of Freshwater Fish. *Food Additives & Contaminants: Part A*, **35**, 1497-1507. <https://doi.org/10.1080/19440049.2018.1488184>
- [14] Li, J., Wen, J., Chen, Y., Wang, Q. and Yin, J. (2021) Antibiotics in Cultured Freshwater Products in Eastern China: Occurrence, Human Health Risks, Sources, and Bioaccumulation Potential. *Chemosphere*, **264**, Article 128441. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128441>
- [15] Dinh, Q.T., Munoz, G., Vo Duy, S., Tien Do, D., Bayen, S. and Sauvé, S. (2020) Analysis of Sulfonamides, Fluoroquinolones, Tetracyclines, Triphenylmethane Dyes and Other Veterinary Drug Residues in Cultured and Wild Seafood Sold in Montreal, Canada. *Journal of Food Composition and Analysis*, **94**, Article 103630. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103630>
- [16] 王睿. 昆明市售禽蛋中抗菌药物残留的检测及膳食暴露风险评估[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明医科大学, 2021.
- [17] 赵云霞, 刘冰, 王怡, 等. 湖北省食品中甜蜜素和安赛蜜的风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(1): 110-115.
- [18] 许彦阳, 陆雨顺, 王昕璐, 等. 基于概率分析的京津冀地区蔬菜产品中有机磷类农药急性累积暴露评估[J]. 农产品质量与安全, 2018(5): 7-12+22.
- [19] 刘冰, 王怡, 朱艳杰, 等. 膳食摄入水产品中重金属的风险评估[J]. 中国食品学报, 2021, 21(7): 267-275.
- [20] 中华人民共和国农业部公告 第 1077 号[J]. 中华人民共和国农业部公报, 2008(9): 43.
- [21] GB 31650-2019 食品安全国家标准 食品中兽药最大残留限量[S]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- [22] Wei, J. and Cen, K. (2020) Assessment of Human Health Risk Based on Characteristics of Potential Toxic Elements (PTEs) Contents in Foods Sold in Beijing, China. *Science of The Total Environment*, **703**, Article 134747. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134747>
- [23] 中国居民营养与慢性病状况报告(2020 年) [J]. 营养学报, 2020, 42(6): 521.
- [24] Yu, D., Zhao, L., Zhang, J., Yang, Z., Yang, L., Huang, J., *et al.* (2021) China Nutrition and Health Surveys (1982-2017).

- China CDC Weekly*, **3**, 193-195. <https://doi.org/10.46234/ccdcw2021.058>
- [25] 苏畅, 王志宏, 贾小芳, 等. 2015 年中国十五省(区、市) 18~59 岁居民水产品类食物摄入状况分析[J]. 营养学报, 2018, 40(1): 23-26.
- [26] Song, C., Li, L., Zhang, C., Qiu, L., Fan, L., Wu, W., *et al.* (2017) Dietary Risk Ranking for Residual Antibiotics in Cultured Aquatic Products around Tai Lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **144**, 252-257. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.06.036>
- [27] 陈巧. 闽东地区市售生鲜水产品中兽药残留监测与分析[J]. 福建农业科技, 2020(3): 22-26.
- [28] Liu, S., Bekele, T., Zhao, H., Cai, X. and Chen, J. (2018) Bioaccumulation and Tissue Distribution of Antibiotics in Wild Marine Fish from Laizhou Bay, North China. *Science of The Total Environment*, **631**, 1398-1405. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.139>
- [29] Bortolotte, A.R., Daniel, D. and Reyes, F.G.R. (2021) Occurrence of Antimicrobial Residues in Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fillets Produced in Brazil and Available at the Retail Market. *Food Research International*, **140**, Article 109865. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109865>
- [30] Hua, Y., Yao, Q., Lin, J., Li, X. and Yang, Y. (2022) Comprehensive Survey and Health Risk Assessment of Antibiotic Residues in Freshwater Fish in Southeast China. *Journal of Food Composition and Analysis*, **114**, Article 104821. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104821>
- [31] Tsai, M., Lin, C., Yang, W., Lin, C., Hung, K. and Chang, G. (2019) Health Risk Assessment of Banned Veterinary Drugs and Quinolone Residues in Shrimp through Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *Applied Sciences*, **9**, Article 2463. <https://doi.org/10.3390/app9122463>
- [32] 赵丽云, 丁钢强, 赵文华, 主编. 2015—2017 年中国居民营养与健康状况监测报告[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2022.