DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260424002
引用格式: 王志飞, 刘文明, 朱明锌, 等. 2024—2025 年云南省养殖牛蛙兽药残留调查分析及风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(14): 285–291.
Wang Zhifei, Liu Wenming, Zhu Mingxin, et al. Investigation and analysis of veterinary drug residues and risk assessment of farmed *Rana catesbeiana* in Yunnan from 2024 to 2025 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(14): 285–291. (in Chinese with English abstract).

2024—2025 年云南省养殖牛蛙兽药残留调查分析及风险评估

王志飞[1], 刘文明[2], 朱明锌[3], 李清荟[3], 左鹏翔[1*], 李正文[1], 王 腾[1]
(1. 云南省渔业科学研究院, 昆明 650224; 2. 昭通市渔业管理站, 昭通 657000; 3. 文山州水产技术推广站, 文山 663099)

摘 要: 目的 了解云南省牛蛙养殖环节用药情况及药物残留污染特征, 科学评估膳食健康风险。**方法** 基于云南省水产养殖重点品种质量安全专项监测数据, 利用单因子污染指数法、药物危害商法, 计算出牛蛙兽药残留污染水平和膳食健康风险。**结果** 在本次监测的 105 批次牛蛙中, 孔雀石绿、氯霉素等禁用药物未检出, 常规药物恩诺沙星和氟苯尼考药物残留检出率偏高, 恩诺沙星、氟苯尼考、磺胺类检出率分别为为 77.14%、68.57%、14.28%; 基于一般消费量的膳食暴露评估, 摄入兽药残留最大暴露量的牛蛙产品, 成人和儿童日估计暴露量均低于日允许摄入量。**结论** 云南地区养殖牛蛙整体膳食暴露风险较低, 恩诺沙星、氟苯尼考、磺胺类等常规抗生素药物的违规使用(如超剂量、休药期不足)问题较为突出, 应予以重点关注, 需继续优化牛蛙养殖网格化管理, 筑牢牛蛙产品质量安全防线。

关键词: 牛蛙; 调查分析; 兽药残留; 污染指数; 风险评估
中图分类号: TS254.7 **文献识别码:** A **文章编号:** 2095–0381(2026)14–0285–07

Investigation and analysis of veterinary drug residues and risk assessment of farmed *Rana catesbeiana* in Yunnan from 2024 to 2025

WANG Zhi-Fei[1], LIU Wen-Ming[2], ZHU Ming-Xin[3], LI Qing-Hui[3], ZUO Peng-Xiang[1*], LI Zheng-Wen[1], WANG Teng[1]
(1. *Fisheries Research Institute of Yunnan*, *Kunming* 650224, *China*; 2. *Zhaotong Fisheries Management Station*, *Zhaotong* 657000, *China*; 3. *Fisheries Technology Extension Station of Wenshan*, *Wenshan* 663099, *China*)

ABSTRACT: Objective To understand the drug use and drug residue pollution characteristics in the farmed process of *Rana catesbeiana* in Yunnan Province and scientifically evaluate the dietary health risk. **Methods** Based on the monitoring data of the special project on the quality and safety of key farmed varieties in Yunnan Province, the single factor pollution index method and the drug hazard quotient method were used to calculate the veterinary drug residue

收稿日期: 2026-04-24
基金项目: 云南省农业科技项目(2025533517002972)
第一作者: 王志飞(1982—), 男, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为水产品质量安全。E-mail: 26070858@qq.com
***通信作者:** 左鹏翔(1988—), 男, 副研究员, 主要研究方向为水产品质量安全。E-mail: pointzuo@126.com

pollution level and dietary health risk of bullfrog. **Results** Among the 105 batches of *Rana catesbeiana* monitored this time, banned drugs such as malachite green and chloramphenicol were not detected and the detection rate of drug residues of conventional drugs enrofloxacin and florfenicol was relatively high. The detection rates of enrofloxacin, florfenicol and sulfonamides were 77.14%, 68.57% and 14.28%, respectively. Based on the dietary exposure assessment of general consumption, the estimated daily intake of *Rana catesbeiana* products with the maximum exposure of veterinary drug residues was lower than the allowable daily intake for adults and children. **Conclusion** The overall dietary exposure risk of *Rana catesbeiana*s in Yunnan is relatively low, However, the illegal use of common antibiotics such as enrofloxacin, florfenicol and sulfonamides (including overdosage and failure to observe the withdrawal period) is a prominent problem, it should be given special attention. It is necessary to continue to optimize the grid management of *Rana catesbeiana* and build a safety defense line for the quality and safety of *Rana catesbeiana* products.

KEY WORDS: *Rana catesbeiana*; investigation and analysis; veterinary drug residues; pollution index; risk assessment

0 引 言

牛蛙(*Rana catesbeiana*)肉质细嫩、味道鲜美, 具有高蛋白、低脂肪、低热量等优势[1–2], 深受广大消费者青睐, 市场需求旺盛。近年来, 云南省凭借得天独厚的气候条件和丰富清洁的水资源, 吸引众多省内外企业投入牛蛙养殖行业, 产量稳定保持在 1.5~2.0 万吨, 全省牛蛙产业取得一定发展, 已逐步发展成云南特色水产养殖的重要组成部分。牛蛙养殖产业快速扩张的同时, 兽药残留问题已成为制约产业发展的共性难题。国外相关研究多聚焦于牛蛙病原学、耐药性等基础特征[3–4], 国内学者研究多集中于疾病预防治疗或单一药物代谢规律[5], 缺乏对养殖用药全过程、多药物残留及膳食健康风险的系统性评估, 尤其针对云南高原特色养殖环境的针对性研究较少。近年来, 牛蛙市场行情波动, 急于出塘销售, 导致休药期执行时间不足, 是抗生素药物残留频繁检出的关键原因。云南牛蛙养殖仍以高密度土池为主要模式, 水体自净能力弱、水质易恶化, 腐皮病、红腿病、肠炎病等细菌性病害高发[6–7]。多数养殖户缺乏执业兽医专业指导, 凭经验盲目用药、超剂量使用、未严格执行休药期是导致恩诺沙星、氟苯尼考残留检出率与超标率偏高的主要原因。牛蛙养殖中长期大量使用抗生素[8], 容易诱发细菌产生耐药性和引起药残超标, 还会破坏肠道群落平衡, 增加养殖成本, 加大病害防控难度, 制约产业可持续发展。同时超标产品通过食物链进入人体, 对身体健康造成多重危害[9–10]。根据国家及云南省水产品质量安全抽检显示[11–12], 牛蛙兽药残留问题突出, 严重动摇了消费者对食用牛蛙的安全信心, 成为制约产业发展的核心要素。

当前, 云南牛蛙养殖领域仍存在三大研究不足: (1)缺乏针对全省范围内牛蛙养殖用药行为的系统性调查, 风险点隐患不清; (2)缺少覆盖全省范围内养殖牛蛙的多药物残留检测数据, 整体污染特征不明确; (3)尚未开展基于本地居民膳食结构的健康风险评估, 无法为精准监管提供科学依据。因此, 亟需开展专项研究, 补充区域研究, 破解产业发展难题。

本研究 2024—2025 年选取云南省 11 个州(市)作为调研区域, 通过实地走访、样品采集与实验室检测相结合的方式, 系统开展牛蛙养殖用药情况调查, 采集 105 批次牛蛙样品进行多药物残留检测, 并结合云南居民膳食消费数据开展膳食暴露风险评估。首次针对云南高原养殖环境构建“用药调查-残留检测-风险评估”三位一体的质量安全评价体系; 明确高密度土池养殖模式下药物残留关键风险因子与污染特征; 量化不同人群膳食暴露风险水平, 补充云南地区养殖牛蛙质量安全研究。为云南省牛蛙养殖用药监管、标准制定、病害绿色防控技术研发提供科学依据, 助力产业健康可持续发展。

1 材料与方法

1.1 调查区域和采样

1.1.1 采样区域

2024 年 4 月至 2025 年 11 月, 实地走访云南省普洱、西双版纳、德宏、文山、昆明、红河等 11 个地区的牛蛙养殖基地, 通过座谈的方式汇总牛蛙用药的种类、剂量、周期等信息, 现场抽取达到商品规格的牛蛙肌肉样品 105 份, –20 ℃条件下保存, 及时转运到实验室进行检测。

1.1.2 监测项目

监测 28 个禁(停)、常规药物参数, 禁(停)药物为孔雀石绿、隐色孔雀石绿、氯霉素、呋喃唑酮代谢物、呋喃西林代谢物、呋喃它酮代谢物、呋喃妥因代谢物、诺氟沙星、氧氟沙星、培氟沙星、洛美沙星等 11 种; 常规用药为恩诺沙星、环丙沙星、氟苯尼考、氟苯尼考胺、磺胺类药物(包括磺胺噻唑、磺胺嘧啶、磺胺甲基嘧啶、磺胺二甲基嘧啶、磺胺甲基异噁唑、磺胺多辛、磺胺异噁唑、磺胺喹噁啉、磺胺间甲氧嘧啶、磺胺间二甲氧嘧啶、磺胺氯哒嗪、磺胺甲噻二唑)等 16 种; 1 种允许作为治疗使用、不得检出的药

物-甲硝唑。

1.1.3　检测方法

参照《国家农产品质量安全监督抽查实施细则》(2024年), 采用 GB/T 21318—2007《动物源性食品中硝基咪唑残留量检验方法》、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/T 19857—2005《水产品中孔雀石绿和结晶紫残留量的测定》、GB/T 20756—2006《可食动物肌肉、肝脏和水产品中氯霉素、甲砜霉素和氟苯尼考残留量的测定 液相色谱-串联质谱法》、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》方法进行检测。

1.1.4　试剂与仪器

氯霉素、孔雀石绿、隐色孔雀石绿、呋喃唑酮代谢物、呋喃它酮代谢物、呋喃西林代谢物、呋喃妥因代谢物、氧氟沙星、培氟沙星、诺氟沙星、洛美沙星、甲硝唑、恩诺沙星、环丙沙星、氟苯尼考、氟苯尼考胺、磺胺噻唑、磺胺嘧啶、磺胺甲基嘧啶、磺胺二甲基嘧啶、磺胺甲基异噁唑、磺胺多辛、磺胺异噁唑、磺胺喹噁啉、磺胺间甲氧嘧啶、磺胺间二甲氧嘧啶、磺胺氯哒嗪、磺胺甲噻二唑(色谱纯, 上海安谱璀世标准技术服务有限公司); 甲醇、乙腈(色谱纯, 上海安谱实验科技有限公司); 乙腈、甲醇、无水硫酸钠(分析纯, 广东光华科技股份有限公司); 乙酸乙酯[分析纯, 重庆川东化工(集团)有限公司]; 正己烷(分析纯, 天津市风船化学试剂科技有限公司)。

LCMS-8045 型三重四极杆液相色谱质谱联用仪、LCMS-8050 型三重四极杆液相色谱质谱联用仪(日本岛津公司); 中性氧化铝固相萃取小柱(1 g/3 mL)、HPSW SCX 阳离子交换柱[60 mg/ 3 mL, 华谱生物科技(重庆)有限公司]; TGL-1850 型高速冷冻离心机(四川蜀科仪器有限公司); HT-200 型脉冲多管旋涡混匀仪(上海沪析实业有限公司); KQ218 型超声波清洗器(广东洁盟超声实业有限公司); Auto EVA 80 型全自动氮吹浓缩仪(睿科集团股份有限公司); BCE224-1CCN 型电子天平[精度 0.1 mg, 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司]。

1.1.5　判定依据

常规药物判定依据参考 GB 31650—2019《食品安全国家标准 食品中兽药最大残留限量》, 禁(停)药物以检测方法的定量限进行判定。

1.2　评估方法

1.2.1　药物残留污染评价

单因子污染指数(P_i)通常用于评估水产品中单一污染物的水平[13–14], 其值不受样品中其他非目标污染物或污染物降解的影响。当 P_i<0.2 时, 为安全, 无污染; 当 0.2≤P_i≤0.6 时, 为轻度污染水平; 当 0.6<P_i<1.0 时, 为中度污染; 当 P_i≥1.0 时, 超出限量标准, 为重度污染。计算如公式(1)所示。

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \tag{1}$$

式中: P_i 为污染物的污染指数; C_i 为实测污染物含量, μg/kg; S_i 为污染物含量的判定值, 禁(停)药物以检测方法的定量限作为判定值, 常规药物以最大残留限量值(maximum residue limit, MRL)为判定值。孔雀石绿(以孔雀石绿+隐色孔雀石绿记)小于等于 1.0 μg/kg, 氯霉素小于等于 0.2 μg/kg, 呋喃唑酮代谢物、呋喃它酮代谢物、呋喃西林代谢物和呋喃妥因代谢物各小于等于 1.0 μg/kg, 氧氟沙星、诺氟沙星、培氟沙星和洛美沙星各小于等于 2.0 μg/kg; 恩诺沙星(以恩诺沙星+环丙沙星之和记)MRL 为 100 μg/kg、氟苯尼考(以氟苯尼考+氟苯尼考胺之和记)MRL 为 100 μg/kg、磺胺类药物(以磺胺类药物原形之和)MRL 为 100 μg/kg、甲硝唑仅作为治疗使用, 但不得检出, 判定值小于等于 0.5 μg/kg。

1.2.2　慢性膳食暴露评估方法

慢性膳食暴露评估: 采用慢性暴露危害商法(hazard quotient, HQ)对牛蛙中各种药物残留暴露风险进行评估[15–18], 云南省居民成年人体重以平均 60 kg、儿童(3~6 岁)体重以 18 kg 计算, 参照《中国居民膳食指南(2022)》[19], 人均牛蛙日均摄入量为 0.06 kg。参考国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)、GB 31650—2019 等标准, 日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI): 恩诺沙星为 6.2 μg/(kg • bw)、氟苯尼考为 3 μg/(kg • bw)、磺胺类药物为 50 μg/(kg • bw)。牛蛙兽药残留理论暴露危害商(hazard quotient, HQ)计算如公式(2)所示。

$$\mathrm{HQ} = \frac{\text{日估计暴露量}}{\text{日允许摄入量}} \tag{2}$$

HQ<1 时, 评估安全, 风险在可接受范围; HQ≥1 时, 具有潜在的健康风险, 需要管控。实际 HQ 计算如公式(3)所示。

$$\mathrm{HQ} = \frac{c_i \times m_a}{m_b \times \mathrm{ADI}} \tag{3}$$

式中: c_i 为兽药残留浓度, μg/kg; m_a 为牛蛙摄入量, kg; m_b 为平均体重, kg。

累积暴露评估: 牛蛙兽药残留的累积暴露评估利用危害指数法(hazard index, HI)。HI 是各兽药残留 HQ 之和。当 HI<1 时, 暴露风险较低, HI≥1 时, 具有潜在的健康风险。计算如公式(4)所示。

$$\mathrm{HI} = \sum \mathrm{HQ} \tag{4}$$

1.3　数据处理

采用岛津软件 2010 对数据进行定量, 应用 WPS 2019 软件按照评价公式进行分析计算和制表绘图。

2 结果与分析

2.1 兽药残留检测情况

通过对云南地区养殖牛蛙肌肉样品中兽药残留检测，结果显示，孔雀石绿、氯霉素、呋喃唑酮代谢物、诺氟沙星等 11 种禁(停)药物均未检出，16 种常规药物中恩诺沙星、氟苯尼考、磺胺类等 3 个指标被检出，表明在近年来持续深入开展的“治违禁、控药残、促提升”专项行动中，云南地区牛蛙养殖违规使用禁(停)药物的问题得到有效遏制。常规药物恩诺沙星残留检出率为 77.14%，浓度为 0~307 μg/kg；氟苯尼考检出率为 68.57%，浓度为 0~702 μg/kg；磺胺类检出率为 14.28%，浓度为 0~138 μg/kg。恩诺沙星和氟苯尼考多批次检出，表明在高密度集约化养殖过程中广泛使用该类药物。根据食品安全国家标准进行判定，牛蛙肌肉中恩诺沙星超标 6 批次，氟苯尼考超标 6 批次，磺胺类超标 3 批次，其中磺胺甲基异恶唑 1 批次，磺胺间甲氧嘧啶 2 批次，牛蛙样品累计超标 12 批次(有 3 批次出现两种兽药同时超标的现象)。超标率恩诺沙星(5.71%)等于氟苯尼考(5.71%)大于磺胺类(2.86%)。同时监测数据也显示，实施普通密度模式养殖(占比 5.71%)和应用中草药防控(17.14%)的牛蛙样品，兽药残留检出浓度均保持在较低的范围内。这表明，优化养殖密度和采用中草药绿色防控技术，可以从源头降低病害发生概率，有效减少抗生素使用频率。牛蛙药残检出情况见表 1。

2.2 药物残留污染程度评价

利用单因子污染指数法对每批次牛蛙肌肉中兽药残留和整个区域内牛蛙肌肉中兽药残留平均浓度值进行评价，污染情况见图 1，计算结果反映出，云南地区养殖牛蛙受到常规药物污染，未受到禁(停)药物污染。34.29%的牛蛙未受到恩诺沙星污染，轻度污染 11.43%，中度污染 48.57%，重度污染 5.71；氟苯尼考无污染 54.29%，轻度污染 31.43%，中度污染 8.57%，重度污染 5.71%；磺胺类无污染 85.72%，轻度污染 5.71%，中度污染 5.71%，重度污染 2.86%。磺胺类药物残留 P_i 为 0.11，评价为无污染；氟苯尼考残留 P_i 为 0.44，评价为轻度污染；恩诺沙星残留 P_i 为 0.62，评价为中度污染。

结果显示，云南牛蛙兽药残留污染主要集中于恩诺沙星、氟苯尼考两种药物。尤其是白露节前后为养殖牛蛙全年病害与用药风险峰值期，该时段昼夜温差骤增、水温波动剧烈，牛蛙应激反应强烈、免疫力显著下降，发病率与死亡率达全年最高，集中使用恩诺沙星、氟苯尼考等抗生素治疗细菌性疾病，导致药物残留风险急剧升高。本次监测中，87.5%的牛蛙兽药残留超标样品采集于该时段，验证了白露前后为牛蛙药物残留的高风险节点。《水产养殖用药明白纸(2025 年 2 号)》[20]和 GB 31650—2019 规定了鱼类氟苯尼考的 MRL 为 1000 μg/kg，休药期为 375 度日；并未规定牛蛙的休药期，而牛蛙肌肉中氟苯尼考 MRL 为 100 μg/kg，判定值仅为鱼的 1/10，对休药期执行要求更加严格。部分

表 1 牛蛙药物残留检出情况统计

Table 1 Statistics on the detection of veterinary drug residues in *Rana catesbeiana*s

兽药种类	定量限/(μg/kg)	检出数量/批次	超标数量/批次	抽样数量/批次	检出率/%	超标率/%	平均浓度/(μg/kg)	最高浓度/(μg/kg)
恩诺沙星	2.0	81	6	105	77.14	5.71	62.20	307
氟苯尼考	3.0	72	6	105	68.57	5.71	44.02	702
磺胺类	2.0	15	3	105	14.28	2.86	10.84	138
孔雀石绿	0.5	ND	ND	105	/	/	/	/
氯霉素	0.2	ND	ND	105	/	/	/	/
呋喃唑酮代谢物	1.0	ND	ND	105	/	/	/	/
呋喃它酮代谢物	1.0	ND	ND	105	/	/	/	/
呋喃西林代谢物	1.0	ND	ND	105	/	/	/	/
呋喃妥因代谢物	1.0	ND	ND	105	/	/	/	/
诺氟沙星	2.0	ND	ND	105	/	/	/	/
氧氟沙星	2.0	ND	ND	105	/	/	/	/
培氟沙星	2.0	ND	ND	105	/	/	/	/
洛美沙星	2.0	ND	ND	105	/	/	/	/
甲硝唑	0.5	ND	ND	105	/	/	/	/

注：ND 表示未检出，平均值计算时，ND 数据作为 0 参与计算；/表示无超标。

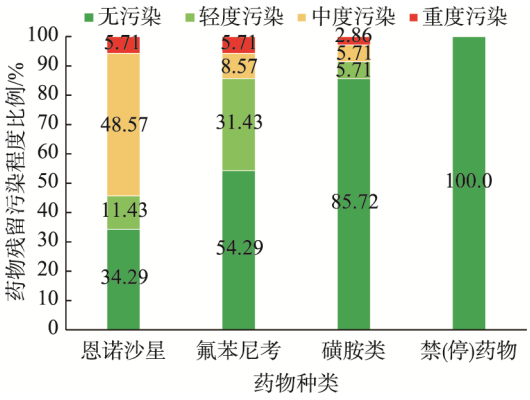


图 1　牛蛙药物残留污染情况

Fig.1　Contamination situation of drug residues in *Rana catesbeiana*

养殖户错误套用鱼类氟苯尼考的休药期管控牛蛙用药，易引发残留超标，亟需加大牛蛙氟苯尼考科学用药、精准执行休药期的宣传与技术指导。为保障上市牛蛙食品安全，建议白露节前后应实施批批速测，不合格严禁出塘，从源头降低药残超标风险。

2.3　膳食暴露风险评估

结合 105 批次的检测结果，分别对每批次牛蛙样品中 HQ、HI 进行计算，见表 2。结果显示，通过摄食牛蛙，成人恩诺沙星 HQ 为 0~0.04950，磺胺类 HQ 为 0~0.00276，氟苯尼考 HQ 为 0~0.23400，HI 为 0~0.249；儿童恩诺沙星 HQ 为 0~0.16500，磺胺类 HQ 为 0~0.00920，氟苯尼考 HQ 为 0~0.78000，HI 为 0~0.830，成人和儿童摄食牛蛙的 HQ、HI 均<1。表明云南居民在摄食本地养殖牛蛙 HQ 及 HI 最大值的极端情况下，膳食暴露风险仍处于可接受程度内，本地养殖的待售牛蛙兽药残留水平整体风险可控，相对安全。而儿童暴露风险显著高于成人，尤其在高消费量场景下，具有一定的健康风险，需予以关注。本次研究膳食暴露评估采用《中国居民膳食指南》(2022 年)推荐的水产品消费量均值(60 g/人·d)，云南居民在肉类饮食结构上更偏向畜禽产品[21–22]，水产品人均实际消费量低于该均值，HQ 低于评估数值，通过摄入牛蛙产品，膳食健康风险极低。

表 2　膳食暴露健康风险评估 HQ 和 HI

Table 2　Dietary exposure to health risk assessment HQ and HI

人群	药物种类	HQ	HI
成人	恩诺沙星	0~0.04950	0~0.249
	氟苯尼考	0~0.23400	
	磺胺类	0~0.00276	
儿童	恩诺沙星	0~0.16500	0~0.830
	氟苯尼考	0~0.78000	
	磺胺类	0~0.00920	

3　讨论与结论

2024—2025 年云南本地养殖牛蛙未检出孔雀石绿、硝基呋喃类等违禁药物，但常规兽药残留超标风险仍不容忽视。从全国监测数据来看，牛蛙兽药残留具有明显地域共性与差异化特征，恩诺沙星是各地区牛蛙养殖中最主要的残留污染物。近期监测结果显示，不同地区牛蛙恩诺沙星检出率存在较大差异，其中云南牛蛙恩诺沙星检出率达 77.14%，上海地区为 61.2%[23]，闽东地区检出率相对偏低[24]，为 29.2%。在禁用药物污染方面，各省市差异较为明显：云南省牛蛙样品中未检出各类禁用药物；而国内部分省份存在禁用药物检出情况，如重庆牛蛙样品检出禁用药物氯霉素，湖南、浙江多批次牛蛙中检出呋喃西林代谢物[25–26]，禁用药物残留风险较为突出。从常规抗生素药物残留种类与超标特征来看，国内多数省市牛蛙药物残留问题集中在恩诺沙星，关于氟苯尼考、磺胺类药物残留超标的相关报道相对较少；云南省虽无禁用药物检出，但仍存在氟苯尼考和磺胺类药物残留超标现象。反映出云南与国内其他省份在牛蛙养殖用药种类选择、日常用药习惯上存在一定区别：其他省份养殖多以氟喹诺酮类药物大量使用为主，同时存在少数养殖户违规使用禁用药物的情况；云南养殖环节杜绝使用禁用药物，但氟苯尼考、磺胺类药物仍存在不规范用药现象。

调查结果同时也显示，传统高密度养殖模式下，养殖环节高度依赖抗生素防控，部分养殖户为提升疗效，存在多种兽药联合使用、超剂量用药等行为。云南牛蛙养殖通常表现为季节性上市，根据价格、需求等因素，出塘规格一般为 0.2~0.5 kg 之间。牛蛙因摄食量大，肝胆肠负担较重，规模化的高密度池塘养殖模式，导致病害频发，在每年白露节前后，气温水温波动幅度较大，病害尤为严重，是牛蛙药物残留风险水平最高的阶段。在牛蛙养殖过程中云南地区主要药物使用率—抗生素药物：恩诺沙星 47.06%，氟苯尼考 41.18%，阿莫西林 41.18%，多西环素 26.47%，新霉素 23.53%，磺胺类 8.82%；消毒剂：二氧化氯 15.12%、聚维酮碘 12.56%；中草药：五黄 50.00%；代谢与生长调节药：维生素 32.35%，其余药物使用比例较低。35.31%的养殖户超剂量使用抗生素药物，23.53%的牛蛙在养殖过程中存在两种抗生素联合用药行为。为破解抗生素困扰难题，需从优化养殖密度、养殖投入品等多方面进行改进。有研究表明，替换饲料主要成分[27]或在饲料中添加纳米硒[28]、酶制剂[29]等绿色添加剂，能有效改善牛蛙肠道功能，减少药物依赖。同时在调查中也发现，17.14%的养殖户将当地野生的车前草、鬼针草、鱼香草、板蓝根、臭灵丹等具有清热解毒、抗菌消炎功效的野生中草药应用于牛蛙养殖中，通过中草药调节牛蛙机体代谢、增强免疫功能，明显降低了病害发生率，这与相关研究的结果相似[30–32]，中草药中

活性成分可以正向调节肠道菌群结构，提高抗氧化和免疫能力，有效解决了困扰传统养殖模式下病害高发、药物滥用等关键问题。这与云南作为“药材之乡”，具有丰富的药用植物资源[33−34]高度契合，为云南牛蛙产业绿色病害防控、可持续发展提供科学思路与技术支撑。

本研究开展的牛蛙膳食暴露评估存在一定的不确定性。本次监测的牛蛙虽已达销售规格，但尚未出售，药物残留水平无法完全代表上市时的实际残留浓度；药物种类监测不全面，仅针对部分常用药物开展残留检测，牛蛙养殖中未监测兽药的使用比例约 18.75%，评估结果与牛蛙体内真实药物残留状况存在一定偏差，若其残留浓度与已监测药物均值相当，则评估结果可能低估整体暴露风险 15%~20%；评估基于一般人群的常规消费场景，未纳入牛蛙高消费量的极端情况，摄入量参数参考《中国居民膳食指南(2022)》，采用“成人体重 60 kg，儿童体重 18 kg，每日水产品平均消费量(42.85~71.43 g/d)”中的中位数(60 g/d)作为基准取值，未考虑人群消费差异，云南部分沿边地区居民牛蛙消费量可达 100~150 g/d，而城镇低消费人群不足 20 g/d，单一均值难以反映个体差异，若膳食消费数据高估牛蛙消费量 20%，则膳食暴露量计算值相应高估 20%，可能导致原本“低风险”的物质被误判为“中等风险”；若低估高消费人群消费量 50%，则该群体的暴露风险可能被低估 40%~60%，掩盖潜在安全隐患；未纳入孕妇、老年人等敏感人群，敏感人群中，孕妇药物代谢率较普通成人低 20%~25%[35]，老年人肾脏排泄功能下降 30%左右[36]，相同摄入量下的暴露风险更高，无法全面反映不同人群的真实暴露风险。综上，上述不确定性因素可能导致膳食暴露评估结果存在高估或低估风险，后续研究继续通过完善药物种类监测、开展区域消费调查、纳入敏感人群暴露场景等方式，进一步降低评估不确定性，为保障云南居民安全食用牛蛙，提供科学、可靠的依据。

本研究通过实地调查分析牛蛙用药状况、检测兽药残留水平、分析药物残留污染程度并开展膳食暴露风险评估，结果显示：云南养殖牛蛙整体膳食暴露风险较低，恩诺沙星、氟苯尼考、磺胺类等常规抗生素药物的违规使用(如超剂量、休药期不足)问题较为突出，已成为制约牛蛙产业高质量可持续发展的关键因素。希望行业监管部门通过强化管理培训，推进养殖模式转型，构建新型产业体系，保障消费者健康与产业可持续发展。

参考文献

[1] 张璐, 彭卫正, 文小丽, 等. 牛蛙肌肉常规营养成分与氨基酸和脂肪酸含量的研究[J]. 饲料工业, 2007(18): 23–24.
Zhang Lu, Peng Weizheng, Wen Xiaoli, et al. Study on conventional nutritional components, amino acid and fatty acid contents in bullfrog muscle[J]. Feed Industry, 2007(18): 23–24.

[2] 蓝蔚青, 杜金涛, 刘大勇, 等. 3 种养殖蛙类肌肉基本营养成分分析[J]. 广东海洋大学学报, 2022, 42(2): 142–147.
Lan Weiqing, Du Jintao, Liu Dayong, et al. Analysis of the basic nutrient composition of muscle in three species of cultured frogs [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2022, 42(2): 142–147.

[3] Ye Yongping, Huang Yufang, Li Furong, et al. Field prevalence and pathological features of *Edwardsiella tarda* infection in farmed American bullfrog (*Aquarana catesbeiana*) [J]. Animals, 2025, 15(17): 2487.

[4] Lee S W, Najiah M, Wendy W, et al. Occurrence of heavy metals and antibiotic resistance in bacteria from internal organs of American bullfrog raised in Malaysia [J]. Journal of Veterinary Anatomy and Histology, 2009, 15(2): 119–127.

[5] 董军, 张思雨, 房迪, 等. 恩诺沙星及其代谢物环丙沙星在牛蛙体内的残留消除规律研究[J]. 淡水渔业, 2024, 54(1): 66–75.
Dong Jun, Zhang Siyu, Fang Di, et al. Study on the residue elimination law of enrofloxacin and its metabolite ciprofloxacin in bullfrog (*Lithobates catesbeiana*) [J]. Freshwater Fisheries, 2024, 54(1): 66–75.

[6] 韩乐, 靳利忠, 陆雨旷, 等. 牛蛙常见疾病研究进展及防治方法[J]. 科学养鱼, 2025(1): 54–55.
Han Le, Jin Lizhong, Lu Yukuang, et al. Research progress and prevention methods of common diseases in bullfrog [J]. Scientific Fish Farming, 2025(1): 54–55.

[7] 吴鸿敏, 孙栋. 近年来水产品主要药物风险因素分析及监管建议[J]. 中国渔业质量与标准, 2024, 14(6): 49–56.
Wu Hongmin, Sun Dong. Analysis of risk factors of main drugs in aquatic products in recent years and regulatory recommendations [J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2024, 14(6): 49–56.

[8] Shao Yitian, Wang Yiping, Yuan Yiwen, et al. A systematic review on antibiotics misuse in livestock and aquaculture and regulation implications in China [J]. Science of the Total Environment, 2021, 798: 149205.

[9] Youngmee J, Johan C, Eric R, et al. Antimicrobial resistance: a threat to global health [J]. The Lancet Infectious Diseases, 2018, 18(9): 939–940.

[10] Rahul K, Nurudeen O A, Sourav C, et al. Antimicrobial resistance in Salmonella: one Health perspective on global food safety challenges [J]. Science in One Health, 2025(4): 100117.

[11] 农业农村部农产品质量安全监管司. 农业农村部关于专项监督抽查发现的 29 批次问题农产品情况的通告[Z]. 2025.
Agricultural Product Quality and Safety Supervision Department of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Announcement by the ministry of agriculture and rural affairs regarding the findings of a special supervision and sampling inspection on 29 batches of problematic agricultural products [Z]. 2025.

[12] 云南省农业农村厅. 云南省农产品质量安全监督抽查通告(第一阶段)-43 批次农产品不合格[Z]. 2024.
Department of Agriculture and Rural Affairs of Yunnan Province. Announcement by Yunnan Province Phase I of agricultural product quality safety supervision and spot check-43 batches of agricultural products failed inspection [Z]. 2024.

[13] 白淑艳, 高磊, 黄晓丽, 等. 我国 4 省养殖中华绒螯蟹中甲基汞的污染特征及健康风险评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(20): 6468–6473.
Bai Shuyan, Gao Lei, Huang Xiaoli, et al. Levels of methylmercury and health risk assessment in *Eriocheir sinensis* from 4 provinces of China [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(20): 6468–6473.

[14] 郑正男, 张秋平, 朱婷婷, 等. 珠海市市售水产品中常见重金属含量监测及初步膳食暴露风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2024, 36(12): 1366–1372.
Zheng Zhengnan, Zhang Qiuping, Zhu Tingting, et al. Monitoring of common heavy metals in sold aquatic products and preliminary dietary exposure risk assessment in Zhuhai City [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2024, 36(12): 1366–1372.

[15] Kartal Y B I, Kirkoylu M, Oral Y F Z, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in potato and corn chips: assessment of dietary exposure and health risk [J]. Microchemical Journal, 2026, 224: 117587.

[16] Ramakanta P, Sasitharan N, Kalpana T, et al. Potentially toxic metals contamination in dietary supplements: implications on human exposure and health risk assessment [J]. Next Research, 2026(8): 101613.

[17] 张妍, 冒丹丹, 潘奕陶, 等. 上海市 16 区县水产品全氟和多氟烷基物质污染及膳食暴露评估[J]. 环境与职业医学, 2025, 42(1): 6–13, 48.
Zhang Yan, Mao Dandan, Pan Yitao, et al. Contamination of per- and polyfluoroalkyl substances in aquatic products and dietary risk assessment across 16 districts of Shanghai [J]. China Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2025, 42(1): 6–13, 48.

[18] 林涛, 彭丽媛, 陈兴连, 等. 滇红茶加工过程中氟虫腈及其代谢物降解规律分析及膳食暴露评估[J]. 食品工业科技, 2020, 41(21): 218–223.
Lin Tao, Peng Liyuan, Chen Xinglian, et al. Degradation of fipronil and its metabolites during processing of Yunnan black tea and dietary exposure assessment [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(21): 218–223.

[19] 中国营养学会. 中国居民膳食指南 2022[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2022: 45–50.
Chinese Nutrition Society. Dietary guidelines for Chinese residents 2022 [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2022: 45–50.

[20] 农业农村部渔业渔政管理局. 水产养殖用药明白纸(2025 年第 2 号)[Z]. 2025.
Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Aquaculture medication guidance sheet (No. 2, 2025) [Z]. 2025.

[21] 张强, 万青青, 刘志涛, 等. 云南城乡居民营养素摄入状况及膳食结构分析[J]. 中国公共卫生, 2016, 32(5): 661–663.
Zhang Qiang, Wan Qingqing, Liu Zhitao, et al. Nutrients intake and dietary structure among residents in Yunnan province [J]. Chinese Journal of Public Health, 2016, 32(5): 661–663.

[22] 阮元, 万蓉, 刘志涛, 等. 云南省城乡居民膳食营养状况分析[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(5): 87–89.
Ruan Yuan, Wan Rong, Liu Zhitao, et al. Dietary nutritional status analysis among urban and rural residents in Yunnan Province [J]. Food and Nutrition in China, 2016, 22(5): 87–89.

[23] 郭燕茹, 宇盛好, 彭少杰. 牛蛙中恩诺沙星的残留现状分析和对策建议[J]. 食品工业, 2025, 46(12): 330–334.
Guo Yanru, Yu Shenghao, Peng Shaojie. Analysis on the residue status of enrofloxacin in bullfrog and countermeasure suggestions [J]. The Food Industry, 2025, 46(12): 330–334.

[24] 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.
Chen Qiao. Monitoring and analysis on veterinary drug residues in fresh aquatic products sold in eastern Fujian [J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2020(3): 22–26.

[25] 湖南省农业农村厅. 关于2024年农产品质量安全第三次监督抽查结果的通报[Z]. 2024.
Department of Agriculture and Rural Affairs of Hunan Province. Report on the results of the third supervision and random inspection of agricultural product quality and safety in 2024 [Z]. 2024.

[26] 浙江省市场监督管理局. 食品安全监督抽检信息通告(2026 年第 15 期)[Z]. 2026-05-06.
Zhejiang Provincial Market Supervision Administration. Notice on food safety supervision and sampling inspection information (Issue 15, 2026) [Z]. 2026-05-06.

[27] Chen Yunfeng, Zhu Ruijun, Sun Zhongchao, et al. The substitution of fish meal-soybean meal mixture with fermented soybean meal promoted the growth of bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) to the same performance as florfenicol addition through positively affecting intestinal health and microbiota [J]. Aquaculture, 2025(605): 742559.

[28] Xu Chenghang, Zuo Gang, Zhang Junzhi, et al. Dietary Nano-selenium supplementation improves growth performance of bullfrog (*Lithobates catesbeiana*): involvement of oxidative stress and inflammatory response in liver and intestine [J]. Aquaculture Reports, 2025(45): 103118.

[29] Su Fashun, Huang Yuezhen, Hu Hongyong, et al. Addition of phytase to a high plant protein-low phosphorus diet increases growth and nutrient absorption and alleviates intestinal damage in bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) [J]. Animal Feed Science and Technology, 2025(325): 116350.

[30] 王志龙, 谢骏, 王广军, 等. 丁酸梭菌或中草药制剂对牛蛙蝌蚪和幼蛙肝脏抗氧化能力、免疫功能及肠道菌群的影响[J]. 动物营养学报, 2025, 37(8): 5395–5409.
Wang Zhilong, Xie Jun, Wang Guangjun, et al. Effects of *Clostridium butyricum* or Chinese herbal preparation on hepatic antioxidant capacity, immune function and gut microbiota of bullfrog tadpoles and froglets [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2025, 37(8): 5395–5409.

[31] Zhu Bo, Xu Shude, Zhang Junzhi, et al. Rosmarinic acid mitigates intestinal inflammation and oxidative stress in bullfrog [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2024(150): 109655.

[32] Chen Kesong, Lin Han, Sun Jingyang, et al. *Archidendron clypearia* extract: modulating intestinal inflammation and enhancing disease resistance in aquacultured American bullfrog (*Aquarana catesbeiana*) [J]. Aquaculture Reports, 2025(42): 102744.

[33] 张娇, 杨鹏, 张艳, 等. 云南中药材产业高质量发展研究[J]. 云南农业大学学报(社会科学版), 2025, 19(4): 146–153.
Zhang Jiao, Yang Peng, Zhang Yan, et al. Study of high-quality development of Yunnan traditional Chinese medicine industry [J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Social Science), 2025, 19(4): 146–153.

[34] 薄淑文, 韩长志, 李娅. 云南省中药材产业发展现状及未来展望[J]. 北方园艺, 2023(13): 137–143.
Bo Shuwen, Han Changzhi, Li Ya. Present situation and future prospect of Chinese medicinal materials industry in Yunnan Province [J]. Northern Horticulture, 2023(13): 137–143.

[35] Pariente G, Leibson T, Carls A, et al. Pregnancy-associated changes in pharmacokinetics: a systematic review [J]. PLoS Medicine, 2016, 13(11): e1002160.

[36] Klotz U. Pharmacokinetics and drug metabolism in the elderly [J]. Drug Metabolism Reviews, 2009, 41(2): 67–76.

(责任编辑: 曹岱琳　安香玉)