



以嘉陵江为例构建并分析有毒鱼类风险评估体系

张富斌^{1,2}, 王健^{1,3}, 杨坤^{2,4}, 高欣⁵, 曾燊^{2*}

(1. 西华师范大学环境科学与工程学院, 四川南充 637009;

2. 西华师范大学生命科学学院, 国家淡水渔业工程技术研究中心西南分中心, 四川南充 637009;

3. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北武汉 430010;

4. 西华师范大学生态研究院, 四川南充 637002;

5. 中国科学院水生生物研究所, 湖北武汉 430072)

摘要: 为提高人们对淡水有毒鱼类的认知、增强公众的防范意识、减少不必要的损失, 也为有毒鱼类的深入研究奠定基础, 本实验初步构建了有毒鱼类风险评估体系, 并对嘉陵江已知的 18 种有毒鱼类展开应用探索。该风险评估体系从有毒鱼类毒性属性、群体属性以及社会属性展开, 共包括 3 个一级指标、8 个二级指标和 26 个三级指标。通过对各有毒鱼类的各指标赋值, 再根据各指标已确定的权重, 从而得出各有毒鱼类的风险评估值, 确定其风险等级。风险评估赋值得分结果显示, 鲤最高, 为 36 分, 福建纹胸鲃最低, 为 21 分, 云南光唇鱼次之, 为 25 分; 其余 15 种有毒鱼类中, 有 7 种得分介于 26~30 分以及 8 种得分介于 31~35 分。风险等级划分结果表明, 在嘉陵江已知的 18 种有毒鱼类中, 有 4 种被界定为高风险有毒鱼类, 包括草鱼、鲤、鲂以及鳊, 其余 14 种皆为中风险有毒鱼类。卡方检验 (χ^2) 结果发现, 嘉陵江不同风险等级有毒鱼类在食性类别、分布水层、分布范围及繁殖特征上差异不显著。该评估体系具有一定的实用价值, 但限于对有毒鱼类的认知, 本评估体系难免存在不足, 未来应当加强对有毒鱼类的研究, 以不断地完善该评估体系。本研究加强了人们对于有毒鱼类的了解, 为有毒鱼类的科学管理提供了支撑, 同时, 也为下一步研究奠定了基础。

关键词: 有毒鱼类; 风险评估; 生态特征; 嘉陵江

中图分类号: Q 958.8; S 932.4

文献标志码: A

有毒生物广泛分布于自然界中^[1-2], 对有毒生物物的探索一直以来备受研究人员的青睐^[3-9]。有毒鱼类种类繁多^[2], 但相关研究长期处于滞后状态。有毒鱼类是指鱼体中某些器官或组织中含有毒素, 或者其组织能够分泌毒素的鱼类^[10]。有毒鱼类的毒性作为有毒鱼类特殊的性状, 是在自然界长期生存竞争及对环境适应过程中不断演化出来的, 其对于有毒鱼类在捕食、防御、免疫、自我保护

等方面具有十分重要的生态学意义^[11-12]。

据报道, 有毒鱼类是有毒脊椎动物中最庞大的类群之一, 其种类数最低保守估计在 2 500 种以上, 但目前世界范围内已发现的有毒鱼类种类仅 1 100 种左右^[2, 13]。多数有毒鱼类生活在海洋环境中, 少部分有毒鱼类为淡水种类^[10]。研究指出, 全球每年因接触或食用有毒鱼类而中毒的人数达数万人^[14], 严重威胁着人们的生命健康, 并因此

收稿日期: 2020-11-22 修回日期: 2021-04-02

资助项目: 国家自然科学基金(31901219); 西华师范大学科研启动金(18Q035); 四川省科技计划资助(2022NSFSC1646); 化学合成与污染控制四川省重点实验室开放基金(CSPC202010)

第一作者: 张富斌(照片), 从事鱼类生态学研究, E-mail: sczhangfubin@163.com

通信作者: 曾燊, 从事水生生物学研究, E-mail: zengyu@cwnu.edu.cn



造成巨大的经济损失。

在淡水生态系统中,胆毒鱼类(gall-bladder poisonous fishes)和刺毒鱼类(venomous fishes)是目前已知对人们威胁最大的有毒鱼类。民间常有吞服鱼胆治病的习惯,这一现象在东南亚地区以及中国尤为突出,据不完全统计,近年因吞食鱼胆而中毒的人数高达数百人,且上百人因此失去了性命^[15]。此外,渔民、潜水人员、涉水工作人员以及沿岸居民等每年被刺毒鱼类刺伤者不计其数,严重者会直接导致死亡。究其原因主要是缺乏对有毒鱼类的研究,导致人们对有毒鱼类的认知不足,从而疏于防范。因此,有必要开展有毒鱼类相关知识的探究,并进行有毒鱼类风险评估,增强人们对有毒鱼类的风险防范意识,加强对有毒鱼类的科学管理,以减少不必要的伤害和损失。

嘉陵江干流全长1 120 km,流域面积约160 000 km²,是长江水系中流域面积最大的支流^[16]。嘉陵江发源于秦岭南麓,流经三省一市(陕西省、甘肃省、四川省、重庆市),于重庆市朝天门汇入长江。从源头至四川广元昭化河段为上游,昭化至广安武胜河段为中游,武胜以下江段为下游^[16]。流域内支流众多,生境异质性强,鱼类资源和生物多样性丰富^[17-19],建有12个鱼类种质资源保护区,是长江上游重要的鱼类种质资源库^[20]。张富斌等^[12]的研究表明,有毒鱼类在嘉陵江分布广泛,且沿岸居民缺乏对有毒鱼类的认知,疏于防范。

目前,人们普遍对有毒鱼类的认知有限,特别是淡水有毒鱼类^[10]。世界范围内尚未见关于有毒鱼类的风险评估体系构建和应用的报道,而有毒鱼类却仍在持续不断地对人类健康造成威胁和伤害。鉴于此,本实验基于对有毒鱼类的研究和认知,初步构建了有毒鱼类风险评估体系,并对嘉陵江有毒鱼类展开应用。期望通过本研究增强公众对于有毒鱼类的认知,减少有毒鱼类对于人类或其他动物的伤害;同时,更加科学地管理和防御有毒鱼类,进而为淡水有毒鱼类的开发和利用提供基础资料和理论依据;此外,本研究也旨在丰富有毒鱼类的基础资料,同时为继续发展该领域研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 研究对象

本实验以嘉陵江已知的有毒鱼类为研究对象。其中,少数有毒鱼类是多年未有渔获,但历史资

料记载在嘉陵江中有分布,如圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)。为了能够更加全面了解嘉陵江有毒鱼类风险评估情况,本研究将历史分布种类一并归入有毒鱼类风险评估。

据张富斌等^[12]的研究表明,目前,嘉陵江已知的有毒鱼类共18种,包括卵毒鱼类:云南光唇鱼(*Acrossocheilus yunnanensis*)、鲇(*Silurus asotus*);胆毒鱼类:青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)、赤眼鲮(*Squaliobarbus curriculus*)、翘嘴鲌(*Culter alburnus*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、鲫(*Carassius auratus*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)、圆口铜鱼;血清毒鱼类:黄鳝(*Monopterus albus*);刺毒鱼类:黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)、长吻鮠(*Leiocassis longirostris*)、粗唇鮠(*L. crassilabris*)、大鳍鮠(*Hemibagrus macropterus*)、鲇、福建纹胸鮡(*Glyptothorax fukiensis*)、鳊(*Siniperca chuatsi*)。其中,鲇既属于卵毒鱼类,也属于刺毒鱼类。

1.2 风险评估体系构建

有毒鱼类风险评估采用鱼类其他风险评估常用的方法,即基于前期研究和认知,尽量收集所有可能影响有毒鱼类对公众危害的因子,采用若干级别和多种类型的可评价指标来进行风险评估。同级别各指标之间具有独立性,同种类型不同级别之间具有从属关系,如三级指标从属于同类型的二级指标,二级指标从属于同类型的一级指标。

所有选入的指标根据其对公众的危害程度,分别赋予不同的权重。各类指标权重总和为1,对公众影响越大的指标则权重越大。各指标的权重系结合本小组成员以及另外5位鱼类生态学研究匿名赋值,对所有赋值结果统计分析,最终确定各级各指标权重值。最终,风险评估体系依据上述结果将有毒鱼类对公众的危害风险程度通过半定量的方式表达。

1.3 各有毒鱼类各指标的评估值

在本研究中,有毒鱼类风险评估体系共设立了3个一级指标、8个二级指标及26个三级指标(表1)。对有毒鱼风险评估体系中的第三级指标给出3档不同分值(半定量:0, 1, 2)对应不同的评估标准。其后,根据每一种有毒鱼类的毒性、生态特征、实验数据以及基础资料等风险评估前期准备过程中所搜集的资料,对每一种有毒鱼类的每一个指标进行赋值打分。

表 1 嘉陵江有毒鱼类风险评估体系

Tab. 1 Risk assessment system of ichthyotoxic fishes in the Jialing River

一级指标 the first-level index		二级指标 the second-level index		三级指标 the third-level index		不同分值所对应的评估标准 assessment criteria of different scores						
指标名称 index name	权重 weight	指标名称 index name	权重 weight	指标名称 index name	权重 weight	0	1	2				
毒性属性 toxicity attribute	0.50	毒性特征 toxicity characteristics	0.40	毒素含量	0.30	低	中	高				
				毒性大小	0.30	低	中	高				
				毒性持久性	0.20	低	中	高				
				毒性稳定性	0.20	低	中	高				
				症状反应 symptom response	0.30	症状特征	0.25	无	少	多		
						症状显性	0.25	不明显	一般	明显		
						疼痛度	0.25	低	中	高		
						愈后后遗症	0.25	无	少	多		
		危害情况 hazard	0.30	物理伤害度	0.30	无	低	高				
				有无药物治疗	0.40	有特效药物	有替代药物	无				
				感染人的方式	0.30	被动	随机	主动				
				群体属性 group attribute	0.30	相对丰度 relative abundance	0.50	种群相对丰度	0.20	低	中	高
								初次性成熟时间	0.10	大于2年	1~2年	小于1年
								繁殖力	0.20	小于1 000/尾	1 000~ 3 000/尾	大于 3 000/尾
社会属性 social attribute	0.20	市场价值 market value	0.60	繁殖次数	0.20	每年或多年1次	每年2~4次	每年4次以上				
				繁殖环境需求	0.10	高	中	低				
				生长速率	0.20	慢	中	快				
				分布情况 distribution	0.30	分布水域	0.70	狭窄	一般	广阔		
						分布水层	0.30	狭窄	一般	广阔		
				活跃情况 activity	0.20	捕捞难易度	0.60	难	一般	易		
						适应能力	0.40	低	中	高		
民间药用史	0.70	市场需求	0.50	市场价值	0.30	低	中	高				
				民间药用史	0.70	无	有极小范围	有较大范围				
				营养价值	0.50	低	中	高				

1.4 风险评估总得分计算

风险评估总分值的计算是通过各级指标得分累加, 而各级指标得分是各有毒鱼类对应指标的分值乘以其所占的权重。具体计算公式:

$$R = \sum_{i=1}^3 \alpha_i \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} \sum_{k=1}^n a_{ijk} P_{ijk}$$

式中, R 为有毒鱼类风险评估总分值; α_i 为一级指标的权重分值; α_{ij} 为二级指标的权重分值; a_{ijk} 为三级指标的权重分值; P_{ijk} 为三级指标的评估值; n 为第 i 个一级指标下的第 j 个二级指标下的三级指标个数; m 为第 i 个一级指标下的二级指标个数。

1.5 风险等级划分

根据风险评估最终结果对各有毒鱼类风险等级进行划分。由于各有毒鱼类风险评估最终得分为 0~2, 依据均等分法将风险等级划分为 3 等, 包括低风险、中风险以及高风险 (表 2)。

1.6 不同风险等级有毒鱼类的生态特征比较

为进一步了解有毒鱼类风险等级高低是否与鱼类自身生态特性之间存在关系, 本研究在风险评估结果的基础上, 将同一风险等级的有毒鱼类归为一类, 对不同风险类别的有毒鱼类的主要生态特征进行比较。

已有的研究指出, 有毒鱼类的毒性特征可能

表 2 嘉陵江有毒鱼类风险等级及管理措施对应表

风险等级 risk grade	分值范围 score range	管理措施 management measure
低风险 low risk	[0, 0.670)	中毒风险低, 注意日常防范即可
中风险 medium risk	[0.670, 1.340)	中毒风险中等, 需要加强管理和宣传
高风险 high risk	[1.340, 2.000]	中毒风险高, 需进行严格管控, 并制定治疗方案

与有毒鱼类的食性有一定关系^[10], 因此, 本研究中将不同风险等级鱼类的食性进行比较。另一方面, 由于鱼类活动空间对鱼类食性又会产生一定影响, 因此, 本研究将鱼类的分布水层、分布范围(在嘉陵江内)等生态因子纳入比较。此外, 鱼类繁殖特征对鱼类种群结构影响较大, 而卵的特性是鱼类繁殖特征最重要的表现形式之一, 因此, 本研究将有毒鱼类卵的特性作为生态因子之一来进行比较。最后, 通过卡方检验(χ^2)来分析不同风险类别有毒鱼类的生态因子间是否存在差异。

实验中所涉及的统计分析 with 检验采用 SPSS 20 和 Excel 2013 软件, 显著水平设为 0.05。图表通过 Origin 9.0 软件绘制。

2 结果

2.1 嘉陵江有毒鱼类风险评估体系

本研究建立的风险评估体系包括 3 个一级指标, 主要为有毒鱼类毒性属性, 所占权重为 0.5; 有毒鱼类群体属性, 所占权重为 0.3; 以及社会属性, 所占权重为 0.2。其中, 毒性属性分为 3 个二级指标和 11 个三级指标, 毒性属性涉及的评估内容主要是有毒鱼类毒性特征、中毒症状以及对人体的危害程度。有毒鱼类群体属性包括 3 个二级指标和 10 个三级指标, 群体属性主要关注有毒鱼类的种群丰度、活跃程度以及在嘉陵江的分布情况。有毒鱼类的社会属性主要考虑市场的需求和大众接受情况, 包括 2 个二级指标和 5 个三级指标(表 1)。

2.2 嘉陵江有毒鱼类各指标评估赋值

根据有毒鱼类的生态特征以及毒性特征对嘉陵江 18 种有毒鱼类的 26 个指标评估赋值。结果表明, 18 种有毒鱼类的赋值总分范围为 21~36 分, 平均分为 29.89 (± 3.82 , 标准差) 分, 其中, 赋值总分最高的有毒鱼类为鲤, 得分为 36; 而赋值总分最低有毒鱼类为福建纹胸鮡, 其评估得分仅为 21, 其次是云南光唇鱼, 得分为 25。其

余 15 种鱼类赋值得分介于 26~33。赋值得分介于 26~30 分的有毒鱼类有 7 种, 分别为圆口铜鱼、粗唇鲮、黄鲮、赤眼鲮、鲮、长吻鲮、大鳍鲮, 其得分依次为 26、26、26、29、30、30 和 30 分。得分为 31~35 的共有 8 种, 包括青鱼、翘嘴鲮、鲢、草鱼、黄颡鱼、鲇、鲫、鳊, 分别为 31、31、31、32、33、33、34 和 34 分(图 1)。

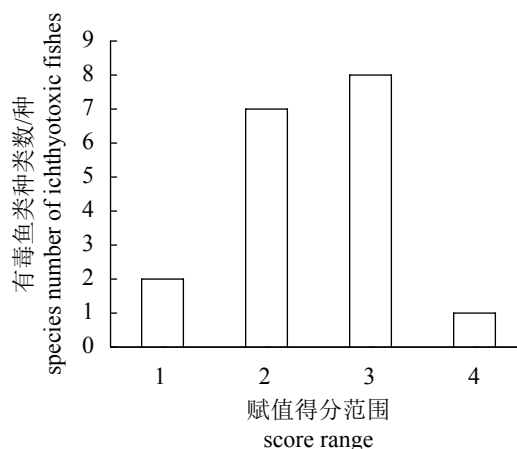


图 1 嘉陵江有毒鱼类风险评估赋值结果

Fig. 1 Result of assignment for risk assessment of ichthyotoxic fishes in the Jialing River

1. 20-25, 2. 26-30, 3. 31-35, 4. 36-40

2.3 嘉陵江有毒鱼类风险评估及风险等级

通过本研究建立的风险评估体系, 根据风险评估总得分(R)公式计算可知, 嘉陵江 18 种有毒鱼类风险评估总得分(R)为 0.880~1.455, 平均分为 1.237 (± 0.143 , 标准差)。其中, 风险评估总得分(R)最高的 3 种鱼类为鲤、鳊和鲇, 其风险评估总得分(R)分别为 1.455、1.366 和 1.363。风险评估总得分(R)最低的 3 种鱼类为福建纹胸鮡、云南光唇鱼及粗唇鲮, 其风险评估总得分(R)依次为 0.880、1.071 和 1.078(表 3)。

根据风险等级划分, 草鱼、鲤、鲇和鳊风险评估总得分(R)大于 1.340, 其得分分别为 1.355、1.455、1.363 和 1.366, 属于高风险等级。其余 14 种鱼类风险评估总得分为 0.880~1.336, 属于中风险

表3 嘉陵江各有毒鱼类风险评估总得分及风险等级

Tab. 3 Total score for risk assessment and risk grade of ichthyotoxic fishes in the Jialing River

有毒鱼类 ichthyotoxic fishes	风险评估 总得分 (R) total score of risk assessment	风险等级 risk grade
青鱼 <i>M. piceus</i>	1.331	中风险
草鱼 <i>C. idella</i>	1.355	高风险
赤眼鲮 <i>S. curriculus</i>	1.177	中风险
翘嘴鲌 <i>C. alburnus</i>	1.253	中风险
鲤 <i>C. carpio</i>	1.455	高风险
鲫 <i>C. auratus</i>	1.332	中风险
鳊 <i>A. nobilis</i>	1.259	中风险
鲢 <i>H. molitrix</i>	1.287	中风险
圆口铜鱼 <i>C. guichenoti</i>	1.125	中风险
云南光唇鱼 <i>A. yunnanensis</i>	1.071	中风险
黄颡鱼 <i>P. fulvidraco</i>	1.336	中风险
长吻鮠 <i>L. longirostris</i>	1.270	中风险
粗唇鮠 <i>L. crassilabris</i>	1.078	中风险
大鳍鱠 <i>H. macropterus</i>	1.258	中风险
鲇 <i>S. asotus</i>	1.363	高风险
福建纹胸鮡 <i>G. fukiensis</i>	0.880	中风险
鳊 <i>S. chuatsi</i>	1.366	高风险
黄鳝 <i>M. albus</i>	1.080	中风险
平均值 average value	1.237	

险有毒鱼类。嘉陵江 18 种有毒鱼类中, 无低风险鱼类(表 3)。

2.4 不同风险等级有毒鱼类生态特征比较

不同风险等级有毒鱼类食性比较 对比不同风险等级鱼类食性类别可知, 14 种中风险有毒鱼类共包括 4 种食性类别: 杂食性鱼类最多, 共 6 种, 占全部中风险有毒鱼类种类数的 42.86%; 植食性和无脊椎动物食性鱼类各 3 种, 分别占全部中风险有毒鱼类种类数的 21.43%; 中风险有毒鱼类中还包括浮游生物食性鱼类 2 种, 占全部中风险有毒鱼类种类数的 14.29%。高风险有毒鱼类包括植食性和杂食性鱼类各 1 种, 分别占高风险有毒鱼类种类数的 25%; 肉食性鱼类 2 种, 占全部高风险有毒鱼类种类数的 50% (图 2)。

卡方检验结果表明, 嘉陵江中风险有毒鱼类和高风险有毒鱼类之间的食性类别差异不显著 ($\chi^2=6.131$, $P>0.05$)。

不同风险等级有毒鱼类分布范围比较 比较嘉陵江有毒鱼类分布水层结果可知, 14 种中风险

有毒鱼类中, 共有 8 种属于底层鱼类, 占全部中风险有毒鱼类种类数的 57.14%; 中上层和中下层中风险有毒鱼类各 3 种, 分别占全部中风险有毒鱼类种类数的 21.43%。嘉陵江 4 种高风险有毒鱼类中, 共包括中下层鱼类 3 种, 占全部高风险有毒鱼类种类数的 75.00%; 其次为底层鱼类, 共 1 种, 占全部高风险有毒鱼类种类数的 25.00% (图 3)。

卡方检验结果表明, 嘉陵江不同风险等级有毒鱼类之间的分布水层差异不显著 ($\chi^2=3.304$, $P>0.05$)。

不同风险等级有毒鱼类分布范围比较 在嘉陵江 14 种中风险有毒鱼类中, 共有 13 种有毒鱼类在全流域皆有分布, 占全部中风险有毒鱼类的 92.86%; 另外 1 种鱼类在嘉陵江中下游分布, 占全部中风险有毒鱼类的 7.14%。高风险鱼类中, 有 3 种在嘉陵江全流域皆有分布, 占全部高风险有毒鱼类种类数的 75.00%; 1 种分布在嘉陵江中下游区域, 占全部高风险有毒鱼类的 25.00% (图 4)。

卡方检验结果表明, 中风险有毒鱼类和高风险有毒鱼类在嘉陵江的分布无显著差异 ($\chi^2=1.004$, $P>0.05$)。

不同风险等级有毒鱼类繁殖特征比较 嘉陵江 14 种中风险有毒鱼类中, 共有 3 种鱼类产黏性卵, 占全部中风险鱼类种类数的 21.43%; 5 种鱼类产漂流性卵, 占全部中风险有毒鱼类种类数的 35.71%; 其余 6 种鱼类产沉性卵, 占全部中风险有毒鱼类种类数的 42.86% (图 5)。在 4 种高风险有毒鱼类中, 产漂流性卵的共 2 种, 占比 50.00%; 而产黏性卵和沉性卵的各 1 种, 分别占全部高风险有毒鱼类的 25.00% (图 5)。

卡方检验结果表明, 嘉陵江中风险有毒鱼类和高风险有毒鱼类在繁殖特征方面无显著差异 ($\chi^2=0.746$, $P>0.05$)。

3 讨论

有毒鱼类作为一类具有特殊性状鱼类, 在世界范围内广泛分布 [10, 12]。有毒鱼类伤人事件持续不断地在世界各地发生 [14, 21-23], 在中国也有较多案例 [24-26]。目前, 关于有毒鱼类的研究甚少, 而涉及淡水有毒鱼类的研究则更为欠缺, 国内外, 尚未见有学者对有毒鱼类进行风险分析。其中, 风险分析的最终目的是寻找适当的措施来控制风险 [27], 而风险评估则是风险分析的核心 [28], 整个风险评估应是一个以科学事实为基础的分析过程,

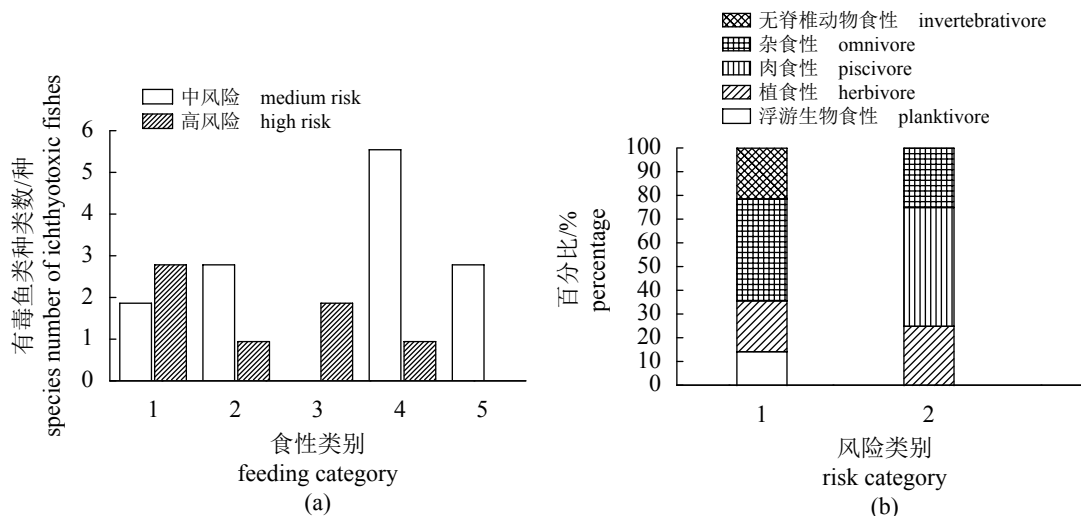


图2 嘉陵江不同风险等级有毒鱼类食性类别比较

(a) 不同食性类别的中风险和高风险有毒鱼类种类数, 1. 浮游生物食性, 2. 植食性, 3. 肉食性, 4. 杂食性, 5. 无脊椎动物食性; (b) 不同风险类别下各食性类别的有毒鱼类种类数量百分比, 1. 中风险, 2. 高风险

Fig. 2 Comparison of feeding habits for different risk grades of ichthyotoxic fishes in the Jialing River

(a) number of medium risk and high risk ichthyotoxic fishes species with different feeding categories, 1. planktivore, 2. herbivore, 3. piscivore, 4. omnivore, 5. invertebrate; (b) percentage of the number of ichthyotoxic fishes species with different feeding categories under different risk categories, 1. medium risk, 2. high risk

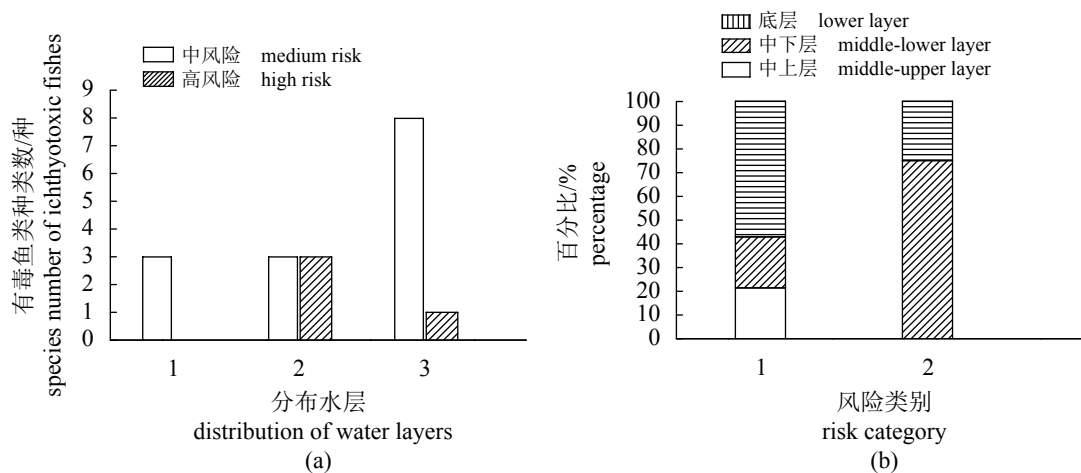


图3 嘉陵江不同风险等级有毒鱼类分布水层比较

(a) 不同分布水层的中风险和高风险有毒鱼类种类数, 1. 中上层, 2. 中下层, 3. 底层; (b) 不同风险类别下不同分布水层的有毒鱼类种类数量百分比, 1. 中风险, 2. 高风险

Fig. 3 Comparison of distribution layers for different risk grades of ichthyotoxic fishes in the Jialing River

(a) number of medium risk and high risk ichthyotoxic fishes species with different distribution of water layers, 1. middle-upper layer, 2. middle-lower layer, 3. lower layer; (b) percentage of the number of ichthyotoxic fishes species with different distribution of water layers under different risk categories, 1. medium risk, 2. high risk

主要包括危害识别、危害特征描述、暴露评估和风险特征描述等方面^[27]。本实验根据已有的研究基础构建了嘉陵江有毒鱼类风险评估体系, 并对目前已知的分布于嘉陵江的 18 种有毒鱼类展开初步的风险评估。

根据本研究的风险评估体系, 嘉陵江高风险

有毒鱼类包括草鱼、鲤、鲃和鳊。其中, 鲤作为淡水胆毒鱼类的典型代表, 在该风险评估体系下评估得分最高, 被划分为高风险等级。首先, 鲤胆汁在多部著名的古籍药典中记载着其具有药用价值, 广为流传, 导致民间食用鲤胆汁的案例屡见不鲜; 其次, 鲤在嘉陵江中分布广泛, 种群数

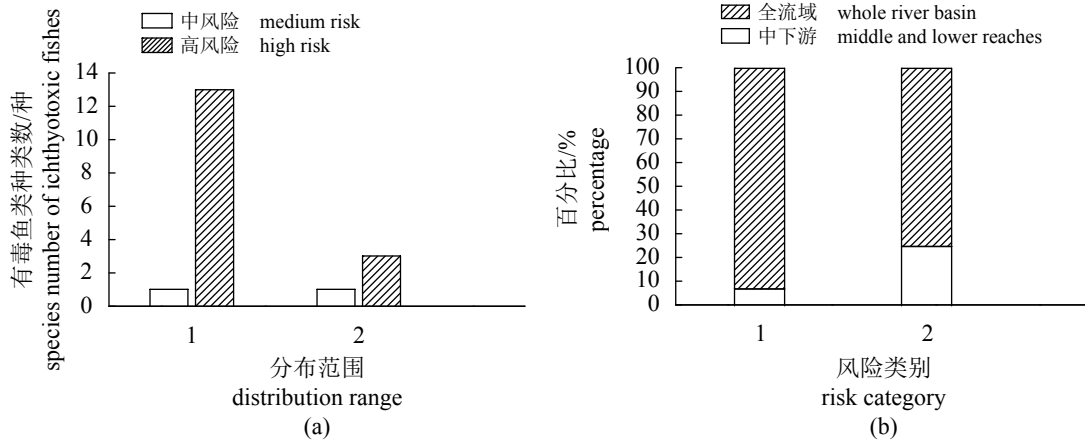


图 4 嘉陵江不同风险等级有毒鱼类分布范围比较

(a) 不同分布范围的中风险和高风险有毒鱼类种类数, 1.中下游, 2.全流域; (b) 不同风险类别下不同分布范围的有毒鱼类种类数百分比, 1.中风险, 2.高风险

Fig. 4 Comparison of distribution range for different risk grades of ichthyotoxic fishes in the Jialing River

(a) number of medium risk and high risk ichthyotoxic fishes species with different distribution ranges, 1. middle and lower reaches, 2. whole river basin; (b) percentage of the number of ichthyotoxic fishes species with different distribution ranges under different risk categories, 1. medium risk, 2. high risk

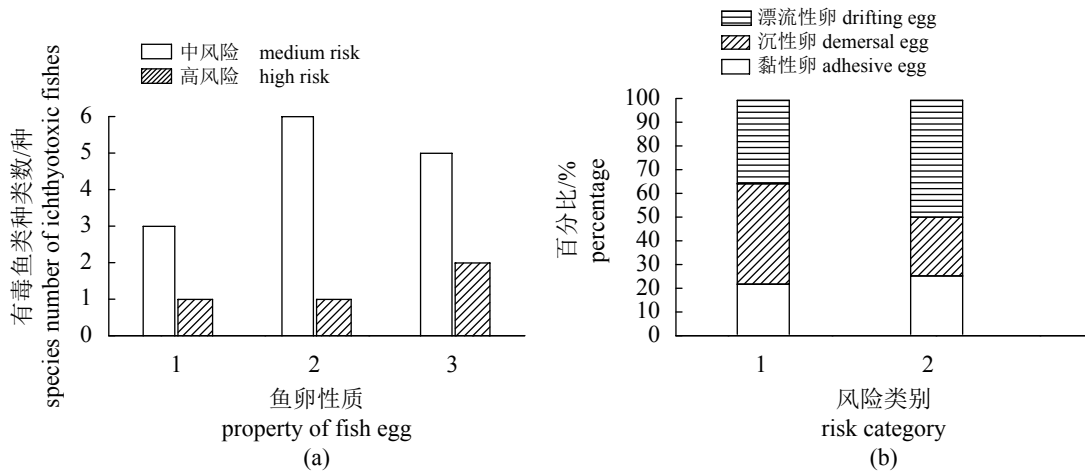


图 5 嘉陵江不同风险等级有毒鱼类繁殖特征比较

(a) 不同鱼卵性质的中风险和高风险有毒鱼类种类数, 1.黏性卵, 2.沉性卵, 3.漂流性卵; (b) 不同风险类别下各鱼卵性质的有毒鱼类种类数百分比, 1.中风险, 2.高风险

Fig. 5 Comparison of reproductive characteristics for different risk grades of ichthyotoxic fishes in the Jialing River

(a) number of medium risk and high risk ichthyotoxic fishes species with different egg properties, 1. adhesive egg, 2. demersal egg, 3. drifting egg; (b) percentage of the number of ichthyotoxic fishes species with different egg properties under different risk categories, 1. medium risk, 2. high risk

量丰度高, 其在嘉陵江中、下游鱼类群落中重量百分比分别高达 21.94% 和 15.80%^[29-30], 再者, 鲤生长迅速, 肉质细腻, 是沿岸居民较为喜欢食用的鱼类之一, 同时也是大众最常接触的鱼类之一。鲤胆汁含量较其他绝大多数鲤科 (Cyprinidae) 鱼类丰富, 且据目前的急性毒性实验结果表明, 鲤胆汁毒性较强 (LD₅₀<0.8 g/kg)。因此, 众多因素共同导致鲤被评估为高风险有毒鱼类。同样的, 草鱼也是淡水胆毒鱼类的主要代表物种之一, 其胆汁具有轻微降压作用, 民间多地错误地将草鱼的

胆汁作为偏方服用, 在四川各地也较为盛行; 此外, 草鱼作为嘉陵江鱼类的优势种群, 在嘉陵江中广泛分布且个体较大, 已有的调查结果表明, 草鱼在嘉陵江下游河段占鱼类群落重量百分比为 21.10%, 平均质量达 1 228.57 g^[30]; 另一方面, 草鱼自身胆囊较一般鲤科鱼类大, 胆汁含量丰富, 且毒性较强^[10], 已有的资料显示, 草鱼胆汁对小鼠 (*Mus musculus*) 的半致死量 (LD₅₀) 为 668.7 mg/kg (灌胃) 和 115.15 mg/kg (腹腔注射)^[10], 而根据对嘉陵江草鱼胆汁毒性的研究结果表明, 其对

昆明小鼠 (20 g) 的半致死量 (LD_{50}) 与此值较为接近。基于上述原因, 导致草鱼在该风险评估体系中也划为高风险等级。鲇肉质鲜美, 营养丰富, 深受大众喜爱, 是嘉陵江地区非常重要的经济鱼类, 沿岸居民时常在无任何保护措施的条件下接触鲇。鲇既是卵毒鱼类, 也属于刺毒鱼类, 作为刺毒鱼类, 当其受到外界威胁时, 会利用其毒棘主动伤害威胁者, 造成威胁者中毒; 而作为卵毒鱼类, 人们在食用其鱼卵时, 若加工不当, 会引起中毒。由于鲇特殊的毒性特征以及遇到威胁时的主动攻击性, 导致其被评估为高风险有毒鱼类。鳊作为嘉陵江的名贵鱼类, 深受大众喜爱, 相较于一般鲮科 (Bagridae) 刺毒鱼类的毒棘主要集中在背鳍和胸鳍棘, 数量少, 而鳊背鳍具有十分丰富的毒棘, 一旦受到威胁, 其通过毒棘主动攻击威胁者, 主动给人们造成伤害, 因此, 在此风险评估体系下也被划分为高风险有毒鱼类。

在中风险有毒鱼类中, 以福建纹胸鲃风险评估得分最低, 仅为 0.880; 其次为云南光唇鱼, 风险评估得分为 1.071。福建纹胸鲃为小型鱼类, 其毒素含量低, 另一方面, 该鱼在嘉陵江的种群丰度极小, 数量百分比和重量百分比皆小于 0.01%^[30], 经济价值低, 不易捕捞, 因此, 福建纹胸鲃在本评估体系被评为中风险有毒鱼类。云南光唇鱼属于卵毒鱼类, 其毒素的稳定性差^[10], 此外, 其种群丰度在嘉陵江极低, 多年未见其渔获^[29-31], 由于云南光唇鱼卵毒特性及其种群丰度原因, 在本实验所构建的评估体系下被评为中风险有毒鱼类。其余 12 种中风险有毒鱼类也多因种群丰度低, 和/或毒素含量低而导致。

据报道, 部分有毒鱼类毒性可能与食性具有一定关系^[10], 如西加鱼毒素可能与食用有毒岗比甲藻 (*Gambierdiscus toxicus*) 有关^[32]。但本研究中, 不同风险等级的有毒鱼类在食性类别、分布水层和分布范围上差异皆不显著 ($P>0.05$)。其中, 分布水层和分布范围在一定程度上反映鱼类的栖息地环境, 而栖息地环境可能会影响鱼类的食性^[33-34]。据目前对有毒鱼类的认知, 纵然食性可能是有毒鱼类毒性的影响因素之一, 但应不是决定性因素^[35-36]。此外, 繁殖特征是鱼类生态学关注的重点内容之一, 而卵的性质是鱼类繁殖特征的重要表现形式之一^[37], 但本研究结果表明, 不同风险等级的有毒鱼类在繁殖特征之间并没有显著差异 ($P>0.05$), 这也在一定程度上说明鱼类的繁殖特征对有毒鱼类的风险评估得分影响有限。综合来看, 本评估体系是从多个维度去构建的, 不仅关注有毒鱼类

的毒性属性, 同时还涉及有毒鱼类在嘉陵江的种群结构和社会属性; 另一方面, 由于本研究中所涉及的有毒鱼类种类仅 18 种, 数量相对较少, 特别是高风险鱼类种类数仅 4 种, 可能会一定程度上影响统计检验结果。上述原因都可能导致不同风险等级有毒鱼类之间在食性类别、分布水层、分布范围以及繁殖特征上差异不显著。在今后的研究中, 应加强对未知有毒鱼类的探究, 同时可以加入更全面的生态因子, 以探明它们之间是否存在相关性, 从而能够更好地对有毒鱼类进行管理。

本研究结果表明, 草鱼、鲤、鲇以及鳊属于高风险有毒鱼类。上述 4 种高风险有毒鱼类是生活中常见的鱼类, 其中, 草鱼和鲤的含毒部位主要集中在胆汁, 而胆汁的主要化学成分稳定性高^[10], 因此, 公众应当避免接触或食用其胆汁, 若不小心接触后应当及时清洗, 同时, 从草鱼和鲤体内取出的胆囊还应谨慎处理, 避免被其他生物误食。鲇和鳊作为刺毒鱼类, 除了给人们造成直接的机械损伤外, 其毒腺分泌的毒液还可能通过伤口进入人体, 从而对受害者造成持续的伤害或感染^[10, 12], 因此, 在接触这 2 种鱼类时, 建议戴厚手套, 同时尽量避免接触其毒棘。另一方面, 鲇作为卵毒鱼类, 其毒性相对不稳定, 受热后毒性会减弱甚至消失^[10], 且鲇怀卵量较小^[16], 因此, 避免生食其鱼卵则中毒风险会大大降低。而对于其余 14 种中风险有毒鱼类, 也应当加强防范。总而言之, 为了避免有毒鱼类对人类造成伤害, 针对胆毒鱼类, 避免食用其胆汁; 对于刺毒鱼类, 在无法避免接触时应当尽力做好自身防护, 如佩戴手套等; 对于卵毒鱼类, 则不食用其鱼卵, 从而杜绝中毒现象发生; 最后, 应当加强对有毒鱼类的研究, 扩大宣传力度, 增强公众对有毒鱼类的认知并强化大众的防范意识。

综上所述, 由于目前对有毒鱼类, 特别是淡水有毒鱼类缺乏深入的研究, 因此, 本评估体系也主要采用半定量的方式进行。限于对有毒鱼类的认知, 本评估体系难免存在不足, 接下来随着对有毒鱼类研究的推进, 还需要对本评估体系不断完善。当然, 任何风险评估本身的结果会具有一定程度的不确定性, 本实验也探索性的构建适用于淡水有毒鱼类的风险评估体系, 期望通过本研究结果对有毒鱼类的防范与管理提供一定的参考, 也为该方向的发展奠定基础。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] Gopalakrishnakone P, Malhotra A. Evolution of venomous animals and their toxins[M]. Dordrecht: Springer, 2015: 1-499.
- [2] Wright J J. The evolutionary ecology of venomous catfishes, with a focus on members of the North American family Ictaluridae (Teleostei: Siluriformes)[D]. Michigan: University of Michigan, 2012: 1-210.
- [3] Fernandez J H, Neshich G, Camargo A C. Using bradykinin-potentiating peptide structures to develop new antihypertensive drugs[J]. *Genetics and Molecular Research*, 2004, 3(4): 554-563.
- [4] Triplitt C, Chiquette E. Exenatide: from the gila monster to the pharmacy[J]. *Journal of the American Pharmacists Association*, 2006, 46(1): 44-55.
- [5] Fry B G, Vidal N, Norman J A, *et al.* Early evolution of the venom system in lizards and snakes[J]. *Nature*, 2006, 439(7076): 584-588.
- [6] Clark A M. Natural products as a resource for new drugs[J]. *Pharmaceutical Research*, 1996, 13(8): 1133-1141.
- [7] 陈冀胜. 生物毒素-创新药物的源泉[J]. *中国天然药物*, 2009, 7(3): 161.
Chen J S. Column: natural toxins-source of original drugs editorial[J]. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 2009, 7(3): 161 (in Chinese).
- [8] Maatuf Y, Geron M, Priel A. The role of toxins in the pursuit for novel analgesics[J]. *Toxins*, 2019, 11(2): 131.
- [9] Harris R J, Jenner R A. Evolutionary ecology of fish venom: adaptations and consequences of evolving a venom system[J]. *Toxins*, 2019, 11(2): 60.
- [10] 伍汉霖. 中国有毒及药用鱼类新志 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 149-388.
Wu H L. New version of poisonous and medicinal fish in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 149-388 (in Chinese).
- [11] Mahadevan I S, Khora S S. Boxin-an ichthyotoxic protein from boxfishes[J]. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2013, 5(4): 65-68.
- [12] 张富斌, 王燕, 肖瑾, 等. 嘉陵江有毒鱼类的分布研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(12): 2901-2909.
Zhang F B, Wang Y, Xiao J, *et al.* Study on distribution of ichthyotoxic fish in the Jialing River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(12): 2901-2909 (in Chinese).
- [13] Wright J J. Diversity, phylogenetic distribution, and origins of venomous catfishes[J]. *BMC Evolutionary Biology*, 2009, 9(1): 282.
- [14] Smith W L, Wheeler W C. Venom evolution widespread in fishes: a phylogenetic road map for the bioprospecting of piscine venoms[J]. *Journal of Heredity*, 2006, 97(3): 206-217.
- [15] 伍汉霖, 陈永豪, 庄棣华, 等. 中国胆毒鱼类的研究[J]. *上海水产大学学报*, 2001, 10(2): 102-108.
Wu H L, Chen Y H, Zhuang D H, *et al.* Study on the gallbladder poisonous fishes in China[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2001, 10(2): 102-108 (in Chinese).
- [16] 丁瑞华. 四川鱼类志 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994: 122-515.
Ding R H. The fishes of Sichuan, China[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1994: 122-515 (in Chinese).
- [17] Zhang F B, Xiong X Q, Wu N C, *et al.* Length-weight relationships of two fish species from the Jialing River, the largest tributary of the upper Yangtze River, China[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2018, 34(6): 1373-1375.
- [18] 曾燊. 嘉陵江干流鱼类群落生态结构分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(7): 850-857.
Zeng Y. Studies on ecological structure of fish community in Jialing River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, 21(7): 850-857 (in Chinese).
- [19] 曾燊, 陈永柏, 李钟杰. 嘉陵江鱼类资源利用与保护现状[J]. *天津农业科学*, 2014, 20(2): 60-62, 87.
Zeng Y, Chen Y B, Li Z J. Utilization and protection status of fish resources in Jialing River[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2014, 20(2): 60-62, 87 (in Chinese).
- [20] Park Y S, Chang J B, Lek S, *et al.* Conservation strategies for endemic fish species threatened by the Three Gorges Dam[J]. *Conservation Biology*, 2003, 6(17): 1748-1758.
- [21] Haddad Jr V, Martins I A. Frequency and gravity of human envenomations caused by marine catfish (suborder siluroidei): a clinical and epidemiological study[J]. *Toxicon*, 2006, 47(8): 838-843.
- [22] Thalaspitiya S P B, Wijerathne B T B, Siriwardhana N P. Freshwater catfish envenoming in a tropical country[J]. *Wilderness & Environmental Medicine*, 2017, 28(3): 259-266.
- [23] Warrell D A. Venomous bites, stings, and poisoning: an update[J]. *Infectious Disease Clinics of North America*, 2019, 33(1): 17-38.
- [24] 沈建光, 俞雄杰. 刺毒鱼蜇伤致中毒性休克1例[J]. *人民军医*, 1999, 42(9): 553.
Shen J G, Yu X J. A case of toxic shock caused by acanthotoxic fish sting[J]. *People's Military Surgeon*, 1999, 42(9): 553 (in Chinese).
- [25] 张克凌, 刘晓萍, 于业军, 等. 中国沿海常见棘毒鱼类的毒性研究——日本鬼鲉螫伤的调查与研究[J]. *海洋*

- 环境科学, 1999, 18(4): 19-23.
- Zhang K L, Liu X P, Yu Y J, *et al.* Toxicity research of spine poisoning fish frequently found in China coastal water—investigation of injury by stonefish *Inimicus japonicus*[J]. *Marine Environmental Science*, 1999, 18(4): 19-23 (in Chinese).
- [26] 于业军, 刘晓萍, 张克凌, 等. 中国沿海常见棘毒鱼类的毒性研究—光虹螯伤的调查研究[J]. *海洋环境科学*, 2000, 19(1): 24-28.
- Yu Y J, Liu X P, Zhang K L, *et al.* Toxicity research of spine poisoning fish frequently found in China coastal waters—investigation of injury caused by stingray *Dasyatis laevis* Chu[J]. *Marine Environmental Science*, 2000, 19(1): 24-28 (in Chinese).
- [27] FAO/WHO. 食品安全风险分析: 国家食品安全管理机构应用指南 [M]. 樊永祥, 译. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 1-92.
- FAO/WHO. Food safety risk analysis guide for national food safety authorities (FAO Food and Nutrition Paper NO. 87)[M]. Fan Y X, trans. Beijing: People's Medical Publishing House, 2008: 1-92 (in Chinese).
- [28] 刘淑玲. 水产品中甲醛的风险评估与限量标准研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009: 5-12.
- Liu S L. Study on risk assessment and limit standard of formaldehyde in fishery products[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009: 5-12 (in Chinese).
- [29] 张缓缓. 嘉陵江中游蓬安段鱼类群落结构及重要经济鱼类种群生物学研究 [D]. 南充: 西华师范大学, 2016: 12-19.
- Zhang H H. The study on community structure and population biology research of the main economic fish for the middle reaches of Jialing River Peng'an[D]. Nanchong: China West Normal University, 2016: 12-19 (in Chinese).
- [30] 蒋国福, 何学福. 嘉陵江下游鱼类资源现状调查[J]. *淡水渔业*, 2008, 38(2): 3-7.
- Jiang G F, He X F. Status of fish resources in the lower reaches of the Jialing River[J]. *Freshwater Fisheries*, 2008, 38(2): 3-7 (in Chinese).
- [31] 曾燊. 嘉陵江干流鱼类物种分类多样性研究[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2012, 33(3): 246-250,260.
- Zeng Y. Taxonomic diversity of fishes in the main section of the Jialing River[J]. *Journal of China West Normal University (Natural Sciences Edition)*, 2012, 33(3): 246-250,260 (in Chinese).
- [32] 华泽爱. 西加鱼毒的毒素研究概况[J]. *海洋环境科学*, 1994, 13(1): 57-63.
- Hua Z A. Overview of the study on the toxin of *Cynotoxin*[J]. *Marine Environmental Science*, 1994, 13(1): 57-63 (in Chinese).
- [33] Kume G, Furumitsu K, Nakata H, *et al.* Spatiotemporal occurrence and feeding habits of tonguefish, *Cynoglossus lighti* Norman, 1925, larvae in Ariake Bay, Japan[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2014, 31(2): 276-281.
- [34] Rumolo P, Bonanno A, Barra M, *et al.* Spatial variations in feeding habits and trophic levels of two small pelagic fish species in the central Mediterranean Sea[J]. *Marine Environmental Research*, 2016, 115: 65-77.
- [35] Lopes-Ferreira M, Sosa-Rosales I, Bruni F M, *et al.* Analysis of the intersexual variation in *Thalassophryne maculosa* fish venoms[J]. *Toxicon*, 2016, 115: 70-80.
- [36] Casewell N R, Visser J C, Baumann K, *et al.* The evolution of fangs, venom, and mimicry systems in blenny fishes[J]. *Current Biology*, 2017, 27(8): 1184-1191.
- [37] Chambers R C, Trippel E A. Early life history and recruitment in fish populations[M]. Dordrecht: Springer, 1997: 1-596.

Construction and analysis of risk assessment system for ichthyotoxic fishes — a case study of the Jialing River

ZHANG Fubin^{1,2}, WANG Jian^{1,3}, YANG Kun^{2,4}, GAO Xin⁵, ZENG Yu^{2*}

(1. College of Environmental Science and Engineering, China West Normal University, Nanchong 637009, China;

2. Southwest Branch of the National Freshwater Fishery Engineering Technology Research Center, College of Life Science, China West Normal University, Nanchong 637009, China;

3. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China;

4. Institute of Ecology, China West Normal University, Nanchong 637002, China;

5. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

Abstract: Toxic organisms are widely distributed in natural environment and receive much attention from researchers. Ichthyotoxic fishes are one of the largest groups of toxic vertebrates, which refers to fish whose organs or tissues contain toxins or whose tissues can secrete toxins. However, the existent researches on ichthyotoxic fishes have been rather limited for a long time, especially for the freshwater ichthyotoxic fishes. Up to now, the risk assessment system for freshwater ichthyotoxic fishes is scarce at home and abroad, This would greatly hinder the development and utilization of ichthyotoxic fishes. Given that, to increase people's awareness of freshwater ichthyotoxic fishes, enhance public awareness of prevention, reduce unnecessary losses, and lay a foundation for in-depth research on ichthyotoxic fishes, this study has preliminarily established a risk assessment system for ichthyotoxic fishes and it was applied to 18 known ichthyotoxic fishes in the Jialing River. This risk assessment system was focused on toxic property, population property, and social property of ichthyotoxic fishes. A total of three first-level indexes, eight second-level indexes, and 26 third-level indexes were included in the risk assessment system. By assigning values to the indices of each ichthyotoxic fishes, the score of risk assessment for each ichthyotoxic fishes was calculated according to the determined weight of each index. Finally, the risk grade was confirmed by the score for risk assessment of each ichthyotoxic fish. Results showed that *Cyprinus carpio* gained 36 points, which is the highest score. On the contrary, *Glyptotheorax fukiensis* obtained 21 points, which is the lowest score. *Acrossocheilus yunnanensis* acquired 25 points. Among other 15 ichthyotoxic fish species, 7 of them scored between 26 to 30 points and 8 of them scored range from 31 to 35 points. Results of risk grade indicated that four fish species belonged to high risk grade among 18 ichthyotoxic fishes in the Jialing River, and they are *Ctenopharyngodon idella*, *C. carpio*, *Silurus asotus*, and *Siniperca chuatsi*, respectively. The other 14 ichthyotoxic fishes were divided into medium risk grade. This study has also made effort to examine the intrinsic connection between risk levels and the ecological factors of ichthyotoxic fishes in the Jialing River. Nevertheless, Chi square test (χ^2) result showed that there were no significant difference between different risk grades of ichthyotoxic fishes in the Jialing River in respect to feeding habits, distribution water layer, and distribution range. More work could be done in the next research to explore the relationship between ichthyotoxic fishes risk level and their ecological factors. In summary, the risk evaluation system for the freshwater ichthyotoxic fishes we proposed in this study has certain practical value. However, due to limited knowledge for ichthyotoxic fishes, this risk assessment system will inevitably have deficiencies. In the future, the research on ichthyotoxic fishes should be strengthened and the risk assessment system should be constantly improved. Generally, this study has enriched the basic knowledge of freshwater ichthyotoxic fishes, and strengthened people's understanding of ichthyotoxic fish, and provided support for the management of ichthyotoxic fishes. At the same time, it has laid a foundation for further research.

Key words: ichthyotoxic fishes; risk assessment; ecological characteristics; the Jialing River

Corresponding author: ZENG Yu. E-mail: zengyu@cwnu.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31901219); the Doctoral Research Launch Special Project of China West Normal University (18Q035); Sichuan Science and Technology Program (2022NSFSC1646); Open Fund of the Chemical Synthesis and Pollution Control Key Laboratory of Sichuan Province (CSPC202010)