

云斑尖塘鳢在水产养殖中的风险评估及 适生区分析

韦 慧¹, 张铭斯¹, 韦 波², 余梵冬¹, 舒 璐¹, 徐 猛¹, 房 苗¹, 胡隐昌¹, 顾党恩^{1*}

¹中国水产科学研究院珠江水产研究所/农业农村部外来入侵水生生物防控重点实验室

/中国水产科学研究院外来物种与生态安全重点实验室, 广东 广州 510380;

²桂林理工大学测绘地理信息学院, 广西 桂林 541004

摘要:【目的】引进国外优良品种极大促进了水产养殖的发展,但过去水产外来种的风险评估主要针对疫病,很少针对生态风险进行评估。本研究首次利用欧洲外来水产种养殖风险分析框架(ENSARS)和物种分布模型(MaxEnt)对外来水产种云斑尖塘鳢在南部生态区的生态风险进行评估,研究结果可为我国外来水产种引种管理提供参考。【方法】基于文献调研和实地调查收集云斑尖塘鳢生物学和生态学性状以及养殖状况等信息,用ENSARS评估该鱼的入侵风险,对其传播病原体、逃逸和产生社会经济影响的可能性进行分析,并用MaxEnt预测其在中国的适生区。【结果】云斑尖塘鳢在南部生态区具有强的入侵性,在水产养殖过程中具有中等风险,其中传播病原体的风险为中度高水平,逃逸的风险为中等水平,对社会经济产生影响的可能性较低。云斑尖塘鳢的高度适生区分布在台湾、广西、广东、海南4个省(自治区),分别占该省(自治区)面积28.71%、2.41%、14.57%、24.69%。【结论】云斑尖塘鳢的生物地理和生物生态学性状使其在南部生态区具有较强的入侵性,但在养殖过程中对逃逸、病原体传播等高风险事件的人为干预,能够在一定程度上降低逃逸并产生影响的可能性。但云斑尖塘鳢的主产区与其适生区高度重叠,逃逸到自然水域后容易建立自然种群,因此需要加强养殖逃逸方面的管理。

关键词: 生物入侵; ENSARS; AS-ISK; 养殖设施; 水产病害



开放科学标识码
(OSID 码)

Risk analysis and potential distribution prediction for non-native fish *Oxyeleotris marmorata* in aquaculture

WEI Hui¹, ZHANG Mingsi¹, WEI Bo², YU Fandong¹, SHU Lu¹,

XU Meng¹, FANG Miao¹, HU Yinchang¹, GU Dangen^{1*}

¹Key Laboratory of Prevention and Control for Aquatic Invasive Alien Species (Ministry of Agriculture and Rural Affairs), Key Laboratory of Alien Species and Ecological Security (CAFS), Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Science, Guangzhou, Guangdong 510380, China; ²College of Geomatics and Geoinformation, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China

Abstract:【Aim】The introduction of alien species has contributed greatly to the development of the aquaculture industry. Risk assessments of introduced aquaculture species have mainly focused on quarantine pathogens, whereas the ecological risks of non-native aquaculture species have received little attention. In this study, the European Non-native Species in Aquaculture Risk Analysis Scheme (ENSARS) and the species distribution model (i.e., MaxEnt) were used to assess the ecological risk of the typical non-native aquaculture species marbled sand goby *Oxyeleotris marmorata* in the southern ecoregion. Our results can inform strategies for managing non-native species in importation and aquaculture.【Method】The biological and ecological characteristics, as well as the aquaculture status of *O. marmorata*, were investigated based on peer-reviewed literatures and field surveys. The invasiveness, risk of pathogen transmission, escaping from capacity, and socioeconomic impact of *O. marmorata* in aquaculture were assessed using ENSARS, and the potential distribution of this non-native fish in China was predicted using MaxEnt.【Result】*O. marmorata* was clas-

收稿日期(Received): 2023-05-23 接受日期(Accepted): 2023-08-20

基金项目: 广州市科技计划项目(202102020817); 国家大宗淡水鱼产业体系项目(CARS-45); 上海科技馆科研创新平台开放课题

作者简介: 韦慧, 女, 博士。研究方向: 外来鱼类入侵。E-mail: weihui@prfri.ac.cn

* 通信作者(Author for correspondence), 顾党恩, E-mail: gudangen@163.com

sified as "invasive" in the southern ecoregion. This non-native fish was categorized as moderate risk in aquaculture. The risk of pathogen transmission is moderately high. The risk of escaping capacity was medium. The risk of exerting socioeconomic impact was low. The most suitable areas for *O. marmorata* were distributed in Taiwan, Guangxi, Guangdong, and Hainan, accounting for 28.71%, 2.41%, 14.57%, and 24.69% of the total area of each province, respectively. 【Conclusion】 *O. marmorata* was categorized as "invasive" in the southern ecoregion owing to its undesirable biogeographic and bioecological characteristics. The ecological risk of *O. marmorata* could be alleviated by human intervention for high-risk events in aquaculture, including escaping from capacity and pathogen transmission. However, the main aquaculture area of *O. marmorata* overlaps with its potential distribution areas, which might facilitate population establishment of this non-native fish once escaping from capacity to natural waters. Therefore, the measures to prevent these non-native fish escaping from aquaculture facility should be strengthened.

Key words: biological invasion; ENSARS; AS-ISK; aquaculture facility; aquaculture pathogen

水产养殖在保障全球粮食安全和营养安全方面发挥着重要作用(Little & Bunting, 2016)。引进国外优良品种极大促进了水产养殖的发展(Gozlan, 2017)。据不完全统计,1970年以来,我国引进的水物种(包括鱼、虾、贝、蟹等)超过了150种(Lin *et al.*, 2015)。2000年左右颁布的《水产苗种管理办法》和《中华人民共和国渔业法》中规定了进出口水产苗种应当经农业部或省级人民政府渔业行政主管部门批准,并经过检疫后方可进行运输和销售。过去引种管理过程中的风险评估主要针对疫病,很少评估生态风险,也缺乏防止外来水产种以及病原体逃逸和传播的措施和建议(高宇等, 2017; Li *et al.*, 2020),导致尼罗罗非鱼 *Oreochromis niloticus* (Linnaeus)、麦瑞加拉鲈 *Cirrhinus mrigala* (Hamilton)、革胡子鲶 *Clarias gariepinus* (Burchell)等外来水产种逃逸并在自然水域建立种群,威胁水生生物多样性和生态系统健康(Gu *et al.*, 2018)。

外来物种风险分析是对其传入过程中的不确定事件进行识别,从而帮助管理者作出科学决策,以最小的成本将不利后果减少到最低程度的科学管理技术,包括风险识别、风险评估、风险管理和风险交流(徐海根, 2011)。外来物种风险分析主要依据有害生物风险分析制来定,如联合国粮农组织/植物保护组织有害生物风险分析准则(FAO/IPPC, 1995)、检疫性有害生物风险分析(FAO/IPPC, 2004)及欧洲和地中海植物保护组织风险分析方案(EPPPO, 1997)等。早期外来水生生物风险分析主要采用指南和决策树的方法,如基于专家委员会的外来鱼类引种评估导则以及海洋与淡水生物引种和运输实践准则(Kohler & Stanley, 1984; ICES, 1984)。Roy *et al.* (2018)提出了构建外来物种风险评估框架。在此基础上, Copp *et al.* (2005, 2014)

开发了外来水生生物风险筛查工具(aquatic species invasiveness screening kit, AS-ISK)和欧洲外来水产种养殖风险分析框架(european non-native species in aquaculture risk analysis scheme, ENSARS),用于分析外来水生生物的生态风险。这2个工具因其友好的用户设计及较高的判定敏感性等优点,在全球多个国家得到了应用(Copp *et al.*, 2014; Vilizzi *et al.*, 2021)。

ENSARS是一种基于问卷-评分系统的风险评估工具,主要包括路径模块(pathway module)、设施模块(facility module)、生物模块(organism module)、预筛查模块(pre-screen module)、社会经济模块(socio-economic impact)及病原模块(infectious agent)5个基本模块以及入口模块(entry module)、风险总结和管理模块(risk summary and risk management module)2个辅助模块,包括156个问题。这些问题分别用于评估物种的入侵性、被引入的可能性、传播的可能性、逃逸的可能性、携带病原的风险、社会经济影响等。预筛查模块(即AS-ISK)由55个问题组成,其中前49个问题为基础风险评估(basic risk assessment, BRA),分为生物地理/历史(总分范围-4~23)和生物/生态(总分范围为-17~43)2部分,剩余6个问题为气候变化评估(climate change assessment, CCA)(总分范围为-12~12)(Copp *et al.*, 2005)。

云斑尖塘鳢 *Oxyeleotris marmorata* (Bleeker), 又称笋壳鱼,原产于马来西亚、印度尼西亚等东南亚地区,是柬埔寨、泰国、越南等主产国的大宗出口水产品(Cheah *et al.*, 1994)。云斑尖塘鳢于1980年左右引入我国,主产区包括广东、海南和福建地区,消费市场主要在江苏、浙江、北京、陕西、四川等省市(张邦杰等, 2004)。云斑尖塘鳢已在海南和台

湾建立自然种群(余梵冬等,2018)。但云斑尖塘鳢的入侵性强弱及生态和社会经济影响尚不清楚。因此,本研究利用 ENSARS 和 MaxEnt 对云斑尖塘鳢的生态风险和适生区进行评估,理清外来水产种在养殖过程中存在风险的环节,以期作为引种和养殖管理提供决策支持。

1 研究方法

1.1 评估物种与研究区域

云斑尖塘鳢是暖水性鱼类,最适水温为 22~28℃。原产地位于 18.9°S~20.1°N 的马来西亚半岛、中南半岛、菲律宾和印度尼西亚地区(Froese & Pauly,2022)。根据柯本气候分类系统,云斑尖塘鳢原产地的气候类型为 Af(热带+湿润)、Aw(热带+冬季干旱)、Cwa(暖温带+冬季干旱+夏季炎热)(Kottek *et al.*,2006)。因此,本研究选择与云斑尖塘鳢气候相似的南部生态区为风险评估区域,包括西藏(部分地区)、四川、重庆、湖北(部分地区)、湖南、江西、江苏(部分地区)、上海、浙江、福建、广东、广西、贵州、云南、海南及台湾等省(自治区、直辖市)(Abell *et al.*,2008; Kottek *et al.*,2006)。

1.2 风险分析与统计

首先,利用 AS-ISK 对云斑尖塘鳢进行入侵性筛查。根据前期研究结果,南部生态区的 BRA 的风险阈值为 12.5,用该数值区分云斑尖塘鳢在南部生态区的风险等级(韦慧等,2022)。置信因子(confidence factor, CF) $CF = \sum (CL_{Q_i}) / (4 \times N_q)$ ($i = 1, \dots, 55$), CL_{Q_i} 表示每个问题的置信度,4 表示最高置信度, N_q 表示问题的数量。置信因子范围 0.25~1.00。分别回答 ENSARS 中路径、设施、生物、社会经济及病原模块中的问题,用平均分来总结评估结果和置信度,风险等级分为低风险[0~0.8)、中度低风险[0.8~1.6)、中风险[1.6~2.4)、中度高风险[2.4~3.2)、高风险[3.2~4.0)。置信度分为低(0)、中(1)、高(2)和极高(3)(Copp *et al.*,2016)。评估人为本文前 2 位作者,第二作者完成评估后,第一作者对评估结果进行审查和更正。

采用基于最大熵值法生态位模型(MaxEnt)对云斑尖塘鳢在中国的适生区进行分析(Phillips & Dudik,2008)。利用全球生物多样性信息网络(global biodiversity information facility, GBIF)、世界鱼类数据库(Fishbase)等全球物种信息网站、已发

表文献及实地调查,收集云斑尖塘鳢在全球的分布信息。用 R 中的 spThin 软件包筛选出距离大于 10 km 的分布点,最终得到 155 个分布点,其中中国境内共有 25 个分布点(Aiello-Lammens *et al.*,2015)。气候数据从 Worldclim (<http://www.worldclim.org>) 下载空间分辨率为 2.5 arc minutes (5 km×5 km) 的 19 个气候因子。

为避免气候因子间的共线性问题,在 SPSS 20.0 中对 19 个环境因子进行 Pearson 相关性分析,保留所有 Pearson 相关性系数<0.80 的气象数据,对于相关性大于 0.8 的环境因子由 MaxEnt 分析得到的贡献率来决定,留取贡献较大的环境因子。最终筛选出 11 个气候因子数据:年平均温度(Bio1)、年均日较差(Bio2)、等温性(Bio3)、温度季节性变动系数(Bio4)、最冷月份最低温度(Bio6)、多年平均降水量(Bio12)、最湿月份降水量(Bio13)、最干月份降水量(Bio14)、降水量季节性变动系数(Bio15)、最干季度降水量(Bio17)、最暖季度降水量(Bio18)。

将云斑尖塘鳢的分布和环境数据导入模型,随机选取 75% 的分布点作为训练集,25% 作为测试集,其他为软件默认参数,输出文件为 ASCII 栅格图层。利用 ArcMap 的格式转换工具将预测结果 ASCII 格式转化为 RASTER 格式,再利用空间分析工具的重分类功能设定阈值(即适合度指数, suitable index, SI)用于划分适生区等级, $0 \leq SI < 0.06$ 为不适生区, $0.06 \leq SI < 0.23$ 为低适生区, $0.23 \leq SI < 0.45$ 为中适生区, $0.45 \leq SI < 0.7$ 为中高适生区, $SI > 0.7$ 为高适生区(赵浩翔等,2022)。

2 结果

2.1 云斑尖塘鳢的入侵性筛查

根据 AS-ISK 评估结果,风险阈值为 12.5 (韦慧等,2022)。在当前气候变化背景下,云斑尖塘鳢在南部生态区具有较高的入侵风险(表 1)。其中,在“生物地理/历史”部分,“是否在别处入侵”得分较高;在“生物/生态”部分,“不受欢迎(或续存)的特征”“资源开采”和“耐受性特征”得分较高。BRA 及 BRA+CCA 结果的置信度为中等水平。除“是否在别处入侵”“资源开采”“不受欢迎(或续存)的特征”和“气候变化”答案的置信度为中到低水平外,其余皆为中到高水平。

表 1 云斑尖塘鳢在南部生态区的 AS-ISK 评估结果
Table 1 The result of risk assessment for *O. marmorata* using AS-ISK

评估项目 Assessment item	评估的特征 Characteristics for assessment	分数 Score	置信因子 Confidence factor
基础评估 Basic risk assessment (BRA)	A.生物地理/历史 A. Biogeography/historical	驯化/栽培 Domestication/cultivation	2.0
		气候、分布及引入风险 Climate, distribution and introduction risk	2.0
		是否在别处入侵 Invasive elsewhere	4.5
		合计 Total	8.5
	B.生物/生态 B. Biology/ecology	不受欢迎(或续存)的特征 Undesirable (or persistence) traits	6.0
		资源开采 Resource exploitation	5.0
		繁殖 Reproduction	0.0
		扩散机制 Dispersal mechanisms	0.0
		耐受性特征 Tolerance attributes	5.0
		合计 Total	16.0
气候变化评估 Climate change assessment (CCA)	C.气候变化 C. Climate change	气候变化 Climate change	12.0
总结 Outcome	BRA 分数 BRA Score		24.5
	CCA 分数 CCA Score		12.0
	BRA+CCA 分数 BRA+CCA Score		36.5

2.2 云斑尖塘鳢在养殖过程中的入侵风险

ENSARS 评估结果显示,云斑尖塘鳢在 5 个模块的平均得分为 1.92,说明云斑尖塘鳢在南部生态区养殖过程中的生态风险为中等水平(表 2)。

生物体模块的平均得分为 1.99,说明云斑尖塘鳢在养殖过程中的入侵性为中等水平。其中,在传入(分数为 1.67)、定殖(分数为 1.94)、传播(分数为 2.25)和产生影响(分数为 2.12)部分均为中风险。

传染源模块的平均得分为 2.43,为中度高风险。其中,以云斑尖塘鳢为寄主的病原体传入风险评估区的风险为中等水平(分数为 1.57),而病原体在风险评估区域定殖(分数为 3.00)、传播(分数为 2.67)和产生影响(分数为 2.50)为中度高风险。

设施模块的平均得分为 1.82,说明云斑尖塘鳢在养殖设施中时产生的生态风险为中等水平。其中,云斑尖塘鳢及以其为寄主的病原体从养殖设施中逃逸的风险为中等水平(分数分别为 1.83 和 1.80)。

途径模块的平均得分为 2.02,说明云斑尖塘鳢及以其为寄主的病原体在运输、养殖和商品贸易过程中产生的风险为中等水平。其中以云斑尖塘鳢为寄主的病原体在引入过程中逃逸的风险为中度低水平(分数为 1.56);在养殖过程中逃逸(分数为 2.00)及因其商品贸易模式(即最终产品形式和用

途)产生的风险(分数为 2.50)为中等水平。

社会-经济模块的平均分为 1.25,说明云斑尖塘鳢对社会-经济产生影响为中度风险。其中云斑尖塘鳢对市场产生影响为低风险(分数为 0.63),因清除云斑尖塘鳢而产生风险为中等水平(分数为 2.00),对整个地区或全国的社会经济产生影响为中度低风险(分数为 1.11)。

置信度水平的范围为 1.00~1.75,置信度为中等水平。

2.3 云斑尖塘鳢在中国的适生区分析

云斑尖塘鳢在 MaxEnt 模型训练集的 AUC 值为 0.989,测试集的 AUC 值为 0.985,说明预测精度较高。云斑尖塘鳢的适生区主要分布在广东、广西、海南、台湾、四川、重庆、福建和西藏小部分地区(表 3)。其中高适生区分布在台湾、广西、广东、海南,分别占该省(自治区)面积的 28.71%、2.41%、14.57%、24.69%;中高适生区分布在台湾、广西、广东、海南、福建,分别占该省(自治区)面积的 12.69%、8.43%、15.67%、49.94%、0.11%;中适生区分布在台湾、广西、广东、海南、福建、四川、西藏,分别占该省(自治区)面积的 12.06%、27.84%、19.38%、19.75%、1.36%、0.75%、0.43%;低适生区主要分布在广西、广东、台湾、四川、海南、福建、重庆、云南、贵州、西藏。

表 2 用 ENSARS 评估云斑尖塘鳢在养殖过程中的入侵风险
Table 2 The result of risk assessment for *O. marmorata* in aquaculture using ENSARS

模块 Module	风险等级 Risk rank	总体平均分 Overall mean score	平均 Mean score			
生物体 Organism	中风险 Medium	1.99 (1.10)	传入 Introduction 1.67 (1.00)	定殖 Establishment 1.94 (1.17)	传播 Dispersal 2.25 (1.00)	影响 Impact 2.12 (1.24)
传染源 Infectious agent	中度高风险 Moderately high	2.43 (1.45)	传入 Introduction 1.57 (1.25)	定殖 Establishment 3.00 (1.75)	传播 Dispersal 2.67 (1.67)	影响 Impact 2.50 (1.13)
设施 Facility	中风险 Medium	1.82 (1.17)	目标物种逃逸 Target organism escape 1.83 (1.33)	非目标物种逃 逸 Non-target organism escape 1.80 (1.00)		
途径模块 Pathway	中风险 Medium	2.02 (1.15)	进口 Import 1.56 (1.11)	养殖 Farming 2.00 (1.33)	最终用途 Destination use 2.50 (1.00)	
社会-经济 Socio-economic	中度低风险 Moderately low high	1.25 (1.00)	影响市场 Market impacts 0.63 (1.00)	清除成本 Eradication costs 2.00 (1.00)	对地区或全国的影响 Local/national scale impacts 1.11 (1.00)	

括号里的数值表示置信度。
Confidence levels were in parentheses.

表 3 云斑尖塘鳢的适生区面积占比
Table 3 The proportion area of the potential distribution of *O. Marmorata*

地区 Province	不适生区 Unsuitable region	低适生区 Low suitable region	中适生区 Medium suitable region	中高适生区 Medium to high suitable region	高适生区 High suitable region
台湾 Taiwan	28.39	18.15	12.06	12.69	28.71
广西 Guangxi	24.11	37.21	27.84	8.43	2.41
广东 Guangdong	18.61	31.76	19.38	15.67	14.57
海南 Hainan	0.00	5.61	19.75	49.94	24.69
四川 Sichuan	78.20	21.05	0.75	0.00	0.00
西藏 Tibet	98.87	0.66	0.43	0.03	0.00
福建 Fujian	81.92	16.61	1.36	0.11	0.00
重庆 Chongqing	77.11	22.89	0.00	0.00	0.00
云南 Yunnan	98.32	1.55	0.13	0.00	0.00
贵州 Guizhou	98.69	1.31	0.00	0.00	0.00
全国 Nationwide	94.77	2.95	1.14	0.65	0.48

3 讨论

3.1 云斑尖塘鳢的入侵性及其在养殖中的生态风险

通过早期预警从源头阻止高风险外来物种进入自然水域是降低防控成本的有效手段 (Simberloff, 2014)。本研究结果显示,云斑尖塘鳢在南部生态区具有较强的入侵性,但在养殖过程中的生态风险为中等水平。研究发现,外来鱼类通常是中小体型,具有食性杂、寿命短、性成熟早、高繁殖力、大卵径、产卵方式多样、较长的产卵季节及亲代抚育行为等性状,这些性状使外来鱼类能够获取充足的资源,提高其对不良环境的耐受能力,实现定殖和种群扩张 (Cucherousset *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2017)。云斑尖塘鳢属于中型鱼类,偏肉食性,平均体长约为 30 cm,一年可长 12~18 cm (郑文彪和潘

炯华, 1989)。另一方面,云斑尖塘鳢具有较高的繁殖力和繁殖频率,每次产卵约 5000~25000 粒,每年产卵 2~3 次,雄鱼有守卫鱼巢的行为,可提高幼鱼的成活率 (Froese & Pauly, 2022)。云斑尖塘鳢对饥饿和低氧有一定耐受性,且种群恢复能力较强,小种群倍增时间小于 15 个月 (郑文彪和潘炯华, 1989; Froese & Pauly, 2022)。这些特征有利于其快速适应新环境,实现种群扩张。气候是决定外来鱼类在新生境中是否能够定殖的主要环境因子 (Comte *et al.*, 2013)。根据 MaxEnt 预测结果,云斑尖塘鳢的高度适生区分布在台湾、广西、广东和海南,这些区域与该鱼的主产区重叠,气候类型与其原产地相似 (Kottek *et al.*, 2006),说明云斑尖塘鳢在这 4 个省(自治区)具有较高的入侵风险。

外来水产物种是否携带和传播病原体是风险

分析的重点之一(Tarkan *et al.*, 2020)。在进境过程中,《中华人民共和国进出境动植物检疫法》、《中华人民共和国动物防疫法》、《中华人民共和国渔业法》和《水产苗种管理办法》规定从境外引进水产苗种或国内异地引进水产苗种时,必须经过渔业行政管理部门审批,执行严格的检疫检查,合格后才能引种、运输和销售。这些措施能够很大程度降低病原体随引种目标传入的可能性。但经过长时间的养殖,外来水产种容易感染本地常见或新发病原体(Ju *et al.*, 2020)。云斑尖塘鳢是多种常见水产病害的宿主,包括指环虫、锚头蚤、车轮虫和小瓜虫等寄生虫病(潘淦等, 2009),嗜水气单胞菌、舒氏气单胞菌等细菌性疾病(张德锋等, 2015),云斑尖塘鳢虹彩病毒和弹状病毒等病毒性疾病(王庆等, 2010; Fu *et al.*, 2017)。其中,由双核糖核酸病毒、蛙病毒属虹彩病毒、嗜水气单胞菌和真菌引起的流行性溃疡综合征是云斑尖塘鳢最严重的疾病之一,云斑尖塘鳢虹彩病毒和弹状病毒是近年来新发现的病毒,两者可交互感染(王庆等, 2010; Fu *et al.*, 2017)。近年来,病原体检测技术具有便携式,操作简单等特点,适合养殖户等广大基层工作人员使用(徐晓丽等, 2013)。《中华人民共和国渔业法》和《水产养殖质量安全管理规定》也规定了渔业部门应当加强对养殖技术的指导和病害防治工作。这些措施有利于及时发现病原体,降低其在风险评估区域定殖和传播的风险。部分省市(如江苏省)出台的池塘养殖尾水排放强制性标准主要关注总氮、总磷、悬浮物等富营养污染物,很少对病原体的消杀和处理进行规定,可能会增加病原体逃逸出养殖设施的风险。这些现状说明,严格的检疫制度和精确的检测技术能够对病原体进行早期预警,降低其传入风险评估地区的风险。但养殖过程中不规范的管理可能会使病原体逃逸出养殖设施,增加其对当地的渔业资源和生态环境产生影响的风险。

养殖设施是否能够阻止外来水产种及病原体逃逸到自然水域,是评估其是否会对生态系统和社

会经济产生危害的重要方面(Ju *et al.*, 2020)。我国水产养殖模式以粗放型为主,池塘养殖是我国水产养殖的主要模式。到2021年底,全国淡水池塘养殖面积为2.6万 hm^2 ,占总面积的52.26%,其次是水库养殖,占28.88%(农业农村部渔业渔政管理局, 2022)。养殖装备大多集中于增氧和投饲,很少

配备针对鱼病和水质监测的设备,大多数养殖尾水直接排入自然水域,难以对养殖目标及病原体逃逸进行监测和阻拦(程果锋等, 2019; 黄一心等, 2020)。另一方面,池塘、水库等粗放型养殖设施对自然灾害的抵御力较弱,养殖的水产动物容易逃逸至自然水域(Ju *et al.*, 2020)。2016年,农业农村部印发《水产养殖灾后恢复生产技术措施要点》,主要对养殖设施检修、水质管理、苗种调查和疫病监测等方面的技术措施进行了说明,但未见对防范养殖目标逃逸进行指导。例如,2016年受洪水影响,湖北省网箱养殖的外来鲟鱼和杂交鲟逃逸到长江中下游干流中(高宇等, 2017)。生态工程化循环水池塘养殖模式、池塘循环水槽养殖和工厂化养殖,能够实现养殖水体净化和循环,也能在一定程度上防止养殖目标和病原体逃逸到野外,但这些新兴养殖模式和技术尚未得到全国性的推广和应用(黄一心等, 2020)。云斑尖塘鳢的养殖模式主要是池塘和水库网箱养殖(余伟暖等, 2007),因此逃逸至自然水域中的可能性较高。

3.2 ENSARS 在中国的适用性

ENSARS的问题主要包括外来水产种的生物生态学特征、病原体传入和逃逸的可能性、养殖设施防范外来水产种和病原体逃逸的可能性、在引入、养殖和运输过程中外来水产种和病原体逃逸的可能性和对社会经济的影响。尽管ENSARS是基于欧洲的水产养殖情况开发的,但这些问题是水产养殖领域常见的问题,几乎涉及了外来水产种和病原体所有可能产生风险的环节,与我国学者提出的多指标综合评价法指标中设计的内容有一定的相似性(窦寅等, 2011; 马英等, 2009; 徐旭丹等, 2022)。因此,ENSARS通用性较强,在欧洲以外的其他区域也适用(Tarkan *et al.*, 2020)。但ENSARS的语言为英语,提问方式是按西方确定性文化逻辑,与中国的模糊性哲学思维有所差异(谢幼田, 1986; 章忠民, 2013)。如在“社会经济模块”中,ENSARS将经济损失程度分为5个等级,分别定量为小于1万欧元,1万~10万欧元,10万~100万欧元,100万~1000万欧元。但在实际评估过程中,在国内很少有关于外来物种直接或间接经济损失的定量估计,因此,本研究主要通过专家咨询的方式对云斑尖塘鳢的经济损失进行间接评估,问题的答案置信度较低。因此在评估过程中需要结合中国

的实际情况来理解该框架中的问题(Copp *et al.*, 2021)。

3.3 结论

本研究利用 ENSARS 对云斑尖塘鳢在南部生态区水产养殖过程中的风险进行了分析,发现该鱼在南部生态区具有较强的入侵性。云斑尖塘鳢的主产区与其适生区高度重叠,逃逸到自然水域后容易建立自然种群,因此需要加强养殖逃逸管理。在此基础上,结合我国水产养殖的情况,提出针对外来水产种的管理建议:(1)进境过程中全程密封运输,运输车辆、容器、水等直接接触外来水产种的工具有要严格消杀后才能继续使用或丢弃。运输和接货人员接触外来水产种或暂养设备时,要进行消杀后才能离开隔离场。(2)养殖过程中要严格执行隔离场动物防疫消杀及尾水处理规定,定时检查隔离和消杀设备,按时执行消杀计划,防止外来水产种和病原逃逸。在隔离场附近设立监测点,定期监测环境中是否存在外来水产种和病原逃逸。加强应对台风等自然灾害的预案和演练,养殖设备应使用牢固性好的材料,降低自然灾害对养殖设施的破坏。(3)在外来水产种的商业应用过程中,品种选育标准除了具有较好的生长和抗病性能外,还需具备较低的环境影响(如单性不育品种)的特征。外来水产种的养殖范围应限定在有严格隔离条件的养殖场。不销售活体,采用冻鱼片等商品进行销售,并严格执行检疫程序。

致谢:谨以此文纪念国际著名鱼类学家 Gordon Copp 教授(1956.02—2023.07)。感谢中国水产科学研究院珠江水产研究所巩华副研究员提供鱼类疫病方面的信息。

参考文献

程果锋,刘兴国,王建,车轩,2019.上海池塘水产养殖设施和模式现状调查.科学养鱼(11):1-2.
窦寅,吴军,黄成,2011.外来鱼类入侵风险评估体系及方法.生态与农村环境学报,27(1):12-16.
高宇,刘鉴毅,张婷婷,冯广朋,张涛,杨刚,庄平,2017.水产养殖逃逸对长江外来种入侵影响:以鲟鱼为例.生态学杂志,36(6):1739-1745.
黄一心,田昌凤,孟菲良,鲍旭腾,巩沐歌,丁建乐,梁澄,周海燕,2020.中国池塘养殖设施装备历史,现状和发展

研究.渔业现代化,47(3):10-15.
马英,熊何健,林源洪,唐森铭,2009.外来海洋物种入侵风险评估体系的构建.水产学报,33(4):617-623.
农业农村部渔业渔政管理局,2022.2021年全国渔业经济统计公报.(2022-07-21)[2023-04-27].http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/202207/t20220721_6405222.htm.
潘淦,仇登高,池金泉,黎结玲,2009.泰国笋壳鱼常见疾病及其防治.渔业致富指南,12(3):56-57.
王庆,曾伟伟,刘春,李凯彬,常藕琴,潘加雄,石存斌,吴淑勤,2010.云斑尖塘鳢肿大细胞病毒属虹彩病毒的分离与鉴定.水生生物学报,34(6):1150-1156.
韦慧,刘超,胡隐昌,汪学杰,牟希东,顾党恩,徐猛,房苗,2022.基于外来水生生物风险筛选工具评估外来观赏鱼在中国的入侵风险:以甲鲶科鱼类为例.生态与农村环境学报,38(4):494-503.
谢幼田,1986.从老子宇宙观谈中国哲学思维的模糊性.求索(3):104-105.
徐海根,2011.外来物种环境风险评估与控制研究.北京:科学出版社.
徐晓丽,李贺密,崔宽宽,姚学良,任涵玮,郑艳坤,张勤,2013.三种现场快速检测技术在水生动物疾病中的应用.中国水产(2):70-72.
徐旭丹,刘强,黄伟,杜萍,寿鹿,曾江宁,2022.外来养殖鱼类的入侵风险评估及防控对策——以尼罗罗非鱼为例.生物安全学报,31(3):278-288.
余梵冬,王德强,顾党恩,胡隐昌,朱海,佟延南,李芳远,申志新,2018.海南岛南渡江鱼类种类组成和分布现状.淡水渔业,48(2):58-67.
余伟暖,林明辉,黄志斌,2007.泰国笋壳鱼工厂化养殖及病害防治技术.科学养鱼(12):29.
张邦杰,梁仁杰,张瑞瑜,李本旺,莫介化,李春枝,黄永强,2004.尖塘鳢(笋壳鱼)的生物学及养殖概况.淡水渔业,33(6):58-61.
张德锋,刘礼辉,李宁求,任燕,林强,石存斌,吴淑勤,2015.我国南方地区鱼源气单胞菌不同种类的流行特征.水产科学,34(11):673-682.
章忠民,2013.确定性的寻求与本质主义的兴衰.哲学研究(1):81-86.
赵浩翔,冼晓青,郭建洋,张桂芬,王瑞,刘万学,万方浩,2022.基于优化的MaxEnt模型预测海灰翅夜蛾潜在地理分布区.植物保护,28(6):16-22.
郑文彪,潘炯华,1989.泰国褐塘鳢的生物学及人工繁殖试验.淡水渔业(1):3-5.
ABELL R, THIEME M L, REVENGA C, BRYER M, KOTTELAT M, BOGUTSKAYA N, COAD B, MANDRAK N, BALDERAS S C, BUSSING W, 2008. Freshwater ecoregions

- of the world: a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *Bioence*, 58(5): 403–414.
- AIELLO-LAMMENS M E, BORJA R A, RADOSAVLJEVIC A, VILELA B, ANDERSON R P, 2015. spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography*, 38(5): 541–545.
- CHEAH S H, SENOO S, LAM S Y, ANG K G, 1994. Aquaculture of a high-value freshwater fish in Malaysia: the marble or sand goby (*Oxyeleotris marmoratus*, Bleeker). [2023–04–09]. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:83423471>.
- COMTE L, BUISSON L, DAUFRESNE M, GRENOUILLET G, 2013. Climate-induced changes in the distribution of freshwater fish: observed and predicted trends. *Freshwater Biology*, 58(4): 625–639.
- COPP G H, GARTHWAITE R, GOZLAN R E, 2005. Risk identification and assessment of non-native freshwater fishes: a summary of concepts and perspectives on protocols for the UK. *Journal of Applied Ichthyology*, 21(4): 371–373.
- COPP G H, GODARD M J, RUSSELL I C, PEELER E J, GHERARDI F, TRICARICO E, MIOSEC L, GOULLETQUER P, ALMEIDA D, BRITTON J R, VILIZZI L, MUMFORD J, WILLIAMS C, READING A, REES E M A, MERINO-AGUIRRE R, 2016. A preliminary evaluation of the European non-native species in aquaculture risk assessment scheme applied to species listed on annex IV of the EU alien species regulation. *Fisheries Management and Ecology*, 23(1): 12–20.
- COPP G H, RUSSELL I C, PEELER E J, GHERARDI F, TRICARICO E, MACLEOD A, COWX I G, NUNN A D, OCCHIPINTI-AMBROGI A, SAVINI D, 2014. European non-native species in aquaculture risk analysis scheme—A summary of assessment protocols and decision support tools for use of alien species in aquaculture. *Fisheries Management & Ecology*, 23(1): 1–11.
- COPP G H, VILIZZI L, WEI H, LI S, PIRIA M, AL-FAISAL A J, ALMEIDA D, ATIQUÉ U, AL-WAZZAN Z, BAKIU R, BASIC T, BUI T D, CANNING-CLODE J, CASTRO N, CHAICHANA R, COKER T, DASHINOV D, EKMEKCI F G, EROS T, FERINCZ A, FERREIRA T, GIANNETTO D, GILLES A S, JR, GLOWACKI L, GOULLETQUER P, INTERESOVA E, IQBAL S, JAKUBCINOVA K, KANONGDATE K, KIM J-E, KOPECKY O, KOSTOV V, KOUTSIKOS N, KOZIC S, KRISTAN P, KURITA Y, LEE H-G, LEUVEN R S E W, LIPINSKAYA T, LUKAS J, MARCHINI A, GONZALEZ MARTINEZ A I, MASSON L, MEME-DÉMIN D, MOGHADDAS S D, MONTEIRO J, MUM-LADZE L, NADDAFI R, NAVODARU I, OLSSON K H, ONIKURA N, PAGANELLI D, PAVIA R T, J R, PERDIKARIS C, PICKHOLTZ R, PIETRASZEWSKI D, POVZ M, PREDA C, RISTOVSKA M, ROSIKOVA K, SANTOS J M, SEMENCHENKO V, SENANAN W, SIMONOVIC P, SMETI E, STEVOVE B, SVOLIKOVA K, TA K A T, TARKAN A S, TOP N, TRICARICO E, UZUNOVA E, VARDAKAS L, VERREYCKEN H, ZIEBA G, MENDOZA R, 2021. Speaking their language-development of a multilingual decision-support tool for communicating invasive species risks to decision makers and stakeholders. *Environmental Modelling & Software*, 135: 04900.
- CUCHEROUSSET J, COPP G H, FOX M G, STERUD E, VAN KLEEF H H, VERREYCKEN H, ZAHORSKA E, 2009. Life-history traits and potential invasiveness of introduced pumpkinseed *Lepomis gibbosus* populations in north-western Europe. *Biological Invasions*, 11(9): 2171–2180.
- EPPO, 1997. Guidelines in pest risk analysis—Pest risk assessment scheme. *EPPO Bulletin*, 27: 281–305.
- FAO/IPPC, 1995. *Guidelines for pest risk analysis ISPM2*. Rome: FAO.
- FAO/IPPC, 2004. *Pest risk analysis for quarantine pests ISPM11*. Rome: FAO.
- FROESE R, PAULY D, 2022. *FishBase*. [2023–04–07]. <http://www.fishbase.org>.
- FU X, LIN Q, LIANG H, LIU L, HUANG Z, LI N, SU J, 2017. The biological features and genetic diversity of novel fish rhabdovirus isolates in China. *Archives of Virology*, 162(9): 2829–2834.
- GOZLAN R E, 2017. Interference of non-native species with fisheries and aquaculture. *Springer International Publishing*. [2023–04–07]. DOI: 10.1007/978-3-319-45121-3_8.
- GU D E, HU Y C, XU M, WEI H, LUO D, YANG Y X, YU F D, MU X D, 2018. Fish invasion in the river systems of Guangdong Province, South China: several possible indicators of their success. *Fisheries Management and Ecology*, 25(1): 44–53.
- ICES, 1984. *Report of the working group on assessment of demersal stocks in the Baltic*. Copenhagen: ICES.
- JU R, LI X, JIANG J, WU J, LIU J, STRONG D R, LI B, 2020. Emerging risks of non-native species escapes from aquaculture: call for policy improvements in China and other developing countries. *Journal of Applied Ecology*, 57(1): 85–90.
- KOHLER C C, STANLEY J G, 1984. *Implementation of a re-*

- view and decision model for evaluating proposed exotic fish introductions in Europe and North America. Rome: European Inland Fisheries Advisory Commission Symposium.
- KOTTEK M, GRIESER J, BECK C, RUDOLF B, RUBEL F, 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3): 259–263.
- LI S, WEI H, VILIZZI L, ZHAN A, COPP G H, 2020. The future of legislation, policy, risk analysis, and management of non-native freshwater fishes in China. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 29(2): 149–166.
- LIN Y, GAO Z, ZHAN A, 2015. Introduction and use of non-native species for aquaculture in China: status, risks and management solutions. *Reviews in Aquaculture*, 7(1): 28–53.
- LITTLE D C, BUNTING S W, 2016. 5-Aquaculture technologies for food security// MADRAMOOTOO C. *Emerging technologies for promoting food security*. Oxford: Woodhead Publishing: 93–113.
- LIU C, COMTE L, OLDEN J D, 2017. Heads you win, tails you lose: life-history traits predict invasion and extinction risk of the world's freshwater fishes. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 27(4): 773–779.
- PHILLIPS S J, DUDIK M, 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2): 161–175.
- ROY H E, RABITSCH W, SCALERA R, STEWART A, GALLARDO B, GENOVESI P, ESSL F, ADRIAENS T, BACHER S, BOOY O, BRANQUART E, BRUNEL S, COPP G H, DEAN H, D'HONDT B, JOSEFSSON M, KENIS M, KETTUNEN M, LINNAMAGI M, LUCY F, MARTINOU A M N, NENTWIG W, NIETO A, PERGL J, PEYTON J, ROQUES A, SCHINDLER S, SCHÖNROGGE K, SOLARZ W, STEBBING P D, TRICHKOVA T, VANDERHOEVEN S, VAN VALKENBURG J, ZENETOS A, 2018. Developing a framework of minimum standards for the risk assessment of alien species. *Journal of Applied Ecology*, 55(2): 526–538.
- SIMBERLOFF D, 2014. Biological invasions: what's worth fighting and what can be won? *Ecological Engineering*, 65: 112–121.
- TARKAN A S, YOÇURTÇUOĞLU B, EKMEKÇİ F G, CLARKE S A, WOOD L E, VILIZZI L, COPP G, 2020. First application in Turkey of the European Non-native species in aquaculture risk analysis scheme to evaluate the farmed non-native fish, striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus*. *Fisheries Management and Ecology*, 27(2): 123–131.
- VILIZZI L, COPP G H, HILL J E, CLARKE S, 2021. A global-scale screening of non-native aquatic organisms to identify potentially invasive species under current and future climate conditions. *Science of the Total Environment*, 788: e47868.

(责任编辑:郭莹)