

文章编号: 1674-5566(2025)05-1039-10

DOI: 10.12024/jso.20250404848

基于层次分析法综合评价上海地区福寿螺入侵影响

张振宇

(上海海洋大学 经济管理学院, 上海 201306)

摘要: 从经济、生态和社会影响3个维度构建外来水生生物入侵综合评价体系,采用分层随机抽样发放问卷,收集专家对水生生物入侵影响因素重要性的评价,并运用AHP层次分析法确定各指标权重。发现入侵经济影响(权重0.72)的重要性高于生态影响(权重0.17)和社会影响(权重0.11),排前五的影响因素依次为:直接经济损失(0.47)、生态位侵占(0.11)、管控成本(0.09)、清除费用(0.08)及公众辨识力(0.067)。对上海各区福寿螺(*Pomacea canaliculata*)入侵影响进行评分,百分位数高于50%的区域包括崇明(P₉₉)、松江(P₆₈)、金山(P₆₄)、浦东(P₆₁)和青浦(P₅₃)。建议上海遵循“经济权重优先、生态敏感区覆盖、社会参与补位”的准则,实施分区、分级的差异化入侵防控策略。

关键词: 福寿螺; 水生生物入侵; 评价指标体系; AHP层次分析法; 上海地区

中图分类号: F 326.4 **文献标志码:** A

联合国生物多样性与生态系统服务政府间科学政策平台(Intergovernmental science-policy platform for biodiversity and ecosystem services, IPBES)2023年最新评估表明,生物入侵造成的全球经济损失已增至每年4 230亿美元(按2019年美元计算)^[1]。世界100种恶性外来入侵物种中有25种为水生生物^[2],福寿螺(*Pomacea canaliculata*)已成为中国最具破坏力的入侵物种之一,2022年被列入《重点管理外来入侵物种名录》^[3]。截止2025年5月,中国已发现660多种外来入侵物种,是2001年记录的283种的2.3倍,年均经济损失超千亿元,成为受外来入侵危害最严重的国家之一^[4]。上海作为中国最大的沿海开放城市,外来入侵物种数量占全国的37.9%,是全国外来入侵分布最多的地区^[5]。福寿螺入侵长三角地区始于2000年,上海自2006年起出现福寿螺泛滥的报道,主要集中在青浦、松江、崇明等水网密集的稻田、河道及湿地。根据周宇等^[6]对福寿螺入侵扩散的动态评估,上海属于中等扩散区域。

现有水生生物入侵研究主要集中在入侵现状、分布特征、防控措施、经济损失评估进展,及

外来入侵数量与人类经济活动相关性^[7-11]。经济损失评估方法主要包括机会成本法、生产成本法和意愿调查法;生态环境损害带来的经济损失主要采用主观评价法和客观评价法,因评估方法和数据局限而存在争议。目前入侵成本估算多借鉴国外数据库Invacost,多以植物入侵研究为主,如全球森林生物入侵成本估算^[12],针对外来水生生物入侵影响评价的研究较为缺乏。本研究基于层次分析法(Analytic hierarchy process, AHP)构建了外来水生生物入侵影响评价体系,以上海为例,对10个行政区进行定量评估,为上海地区精准防控福寿螺入侵提供科学依据。

1 入侵影响评估体系构建方法

1.1 评价指标选择

通过系统筛选指标和问卷设计,全面评估福寿螺入侵的潜在影响,为外来水生生物入侵管理提供科学依据,重点评价其对典型水域生态系统的影响。参考已有文献,基于专家访谈,梳理和汇总入侵影响评价指标,从经济、生态和社会3个维度构建评价体系,见图1。准则层的一级指标包括经济影响、生态影响和社会影响。其中,经

济影响下设二级指标,分别是直接经济损失、清除费用、管控成本及间接经济损失;生态影响下设二级指标,分别是生态位竞争、生态功能变化、水质影响、生物多样性变化;社会影响下设二级

指标,分别是公众辨识力,公众关注度,社会恐慌和健康风险。该评价体系共设3个一级指标($B_i, i=1, 2, 3$)和12个二级指标($C_j, j=1, 2, \dots, 12$),通过科学的权重设计确保评估的全面性和可靠性。

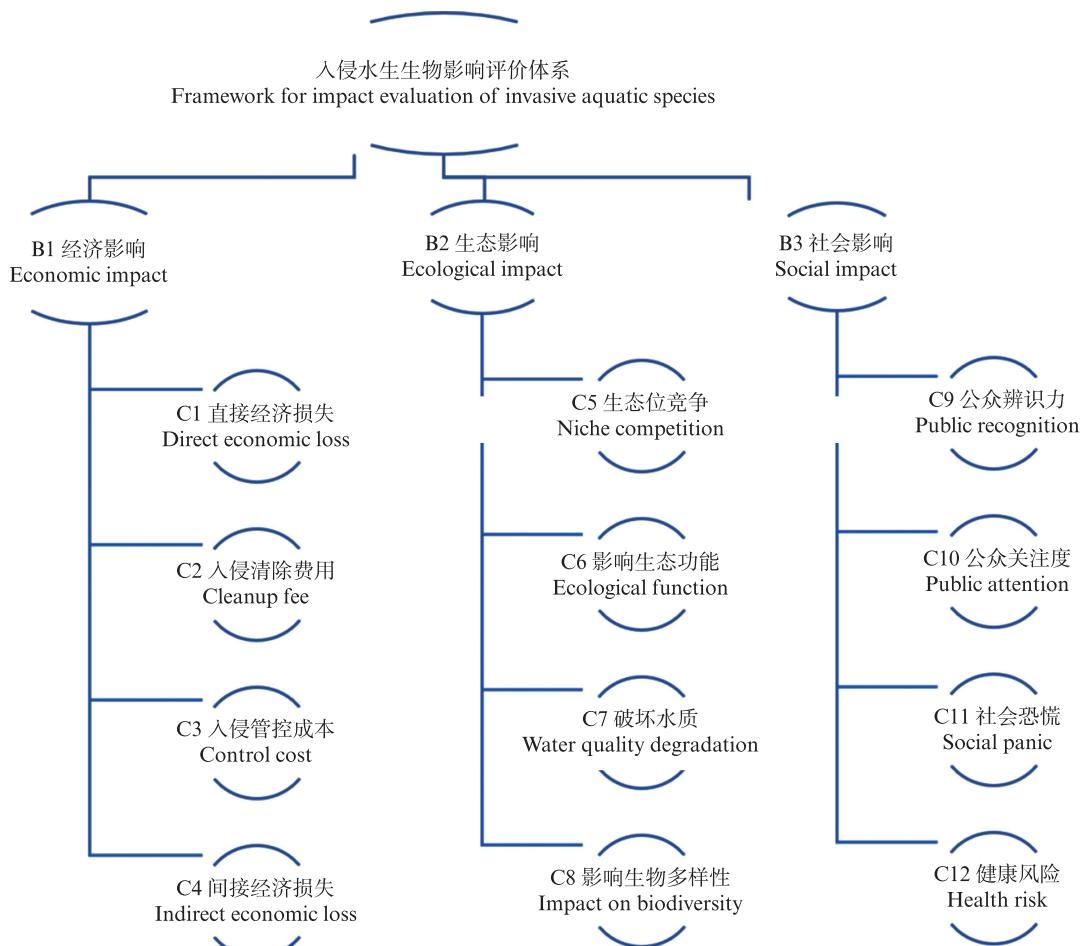


图1 入侵水生生物影响评价分层图
Fig. 1 Hierarchical Framework for Impact Assessment of Invasive Aquatic Species

1.2 专家问卷设计与发放

1.2.1 问卷发放准则

专家筛选标准:涵盖生态学、生物学、环境保护、科学普及等多个专业领域,优先选择具有外来水生生物入侵防控或普查工作经验的专家,兼顾不同工作背景(科研院所、政府部门、生产实践部门)。采用分层随机抽样,确保回收问卷的代表性、全面性和随机性。

1.2.2 问卷回收与专家信息

问卷发放采用线上线下相结合,2024年7月20日—8月2日在问卷星随机发放问卷,回收有效在线问卷102份;线下问卷发放对象包括高校科研机构、入侵普查相关管理部门、受入侵影响

的生产部门,如水稻种植户和水产养殖户,回收有效线下问卷48份。受访专家在地域代表性、学科专业性及工作背景上覆盖了外来入侵生物研究、管理和实践的主要机构,反映各领域对外来水生生物入侵问题的专业认知,确保问卷数据的科学性和全面性,问卷信息可为层次分析法提供可靠的权重判断依据。通过数据筛选和质量控制,得到150份有效问卷,专家信息汇总见表1。

1.3 评价指标量化和信息来源

福寿螺于20世纪80年代作为经济水产养殖物种引入中国,后因食用价值较低被弃养,凭借繁殖能力强(雌性个体年产卵量可达30~50万枚)、环境适应性强(适宜温度范围15~38℃)以

及食性广(可摄食50余种水生植物)等生物学特性,在中国南方多地形成入侵种群,对农业生产、生态系统和公共卫生造成危害^[13]。基于上海农业生产特征(水稻种植面积占耕地面积的三分之二)^[14]和近五年河道监测数据^[15],对上海9个郊区和中心城区进行福寿螺入侵调查发现:(1)中

心城区入侵热点为景观河道、城市公园水体和社区水系;(2)郊区入侵则集中表现为农业生产相关生境,包括灌溉河道、水稻田、林地水系等。本文从经济、生态和社会3个维度选取评价指标,见表2。

表1 问卷专家信息汇总
Tab. 1 Overview of questionnaire expert

地域 Region	占比 Ratio/%	单位类型 Sector	占比 Ratio/%	专业方向 Major	占比 Ratio/%	工作年限 Experience length	占比 Ratio/%
上海 Shanghai	30.0	科研院所	34.0	生态学	47.0	10年以上	25.0
广东 Guangdong	8.7	政府部门	33.0	环境科学	38.0	5-10年	54.0
北京 Beijing	8.0	高等院校	19.0	水产养殖	37.0	少于5年	21.0
河北 Hebei	8.0	农业生产	14.0	农业种植	35.0		
江苏 Jiangsu	6.0	其他	1.0	生物学	34.0		
山东 Shandong	5.3			环保	34.0		
浙江 Zhejiang	4.7			监测监管	25.0		
湖北 Hubei	4.0			环境工程	22.0		
辽宁 Liaoning	3.3			经济管理	17.0		
河南 Henan	2.7			科普	12.0		
福建 Fujian	2.7			其他专业	3.0		
其他各地 Others	17.0						
累计 Total	100		100				100

表2 评价用二级指标参数与信息来源
Tab. 2 Evaluation parameters and data sources for secondary indicators

一级指标 First indicator	二级指标 Secondary indicator	指标参数 Parameter	单位 Unit	信息来源 Sources
经济影响 B1 Economic impact	直接损失 C1	水稻面积	万 hm ²	《上海郊区统计年鉴2019年》
	清除费用 C2	其他河道面积	km ²	《上海市河道湖泊报告(2022)》
	管控成本 C3	2023年福寿螺防控支出	万元/年	上海市农业农村委、区财政局、区水务局、区农委2022—2024年
	间接损失 C4	小微水体面积	km ²	《上海市河道湖泊报告(2022)》
生态影响 B2 Ecologic impact	生态位 C5	福寿螺在河道覆盖率	%	上海水务局《2023年河道有害生物监测报告》
	生态功能 C6	首次记录福寿螺群落距今时长	年	上海市各区农委官网通报汇总2010—2024年
	水质 C7	非优Ⅲ类水体占比	%	《上海市生态环境状况公报》(2023)
	多样性 C8	1/底栖动物密度	m ² /ind	《上海市外来入侵物种防控年度报告(2023)》
社会影响 B3 Social impact	辨识力 C9	1/外来物种防控培训(含福寿螺)	人次/年	上海市各区水务局、各区农委通报汇总2023—2024年
	关注度 C10	2024年福寿螺防控预算	万元	上海市各区农业农村委2024年部门预算
	社会恐慌 C11	福寿螺举报处理事件	次数/年	上海市各区水务局、各区农委2023—2024年
	健康风险 C12	食用安全报道	0/1	上海市各区农委通报汇总2010—2024年

注:数据来源于上海市农委、上海市水务局、上海市生态环境局等内部报告。

Notes: Source from Internal reports by Shanghai Municipal Agricultural Commission, Shanghai Water Authority and Shanghai Municipal Bureau of Ecology and Environment.

1.3.1 经济影响指标

C1(直接经济损失),福寿螺主要通过啃食水

稻、茭白、莲藕等水生作物的幼嫩部分造成经济损失,基于上海郊区农业特点,福寿螺入侵对水

稻秧苗的危害尤为严重,选取“水稻种植面积”量化该指标。

C2(清除费用):主要包括成螺及卵块的定期清理,以崇明为例,包括河道保洁人工成本[150~200元/(人·日)],稻田清理成本(4 500~7 500元/ hm^2),卵块清除补贴(30~40元/kg)。采用“其他河道”面积,即公园、绿地、小区或单位内自管河道^[16],作为量化“清除费用”的基础。

C3(管控成本),采用上海各区“2023年福寿螺防控支出”。2022年6月上海市农业农村委联合市绿化市容局、上海海关、市生态环境局、市规划资源局等五部门共同颁布《上海市进一步加强外来物种入侵防控工作方案》(以下简称《方案》)。该《方案》要求推进水葫芦、福寿螺等水生外来入侵物种综合治理,将外来物种综合治理纳入市级财政专项资金,主要用于人工防控成本和生物防治实验^[16]。

C4(间接经济损失),采用“小微水体”面积来衡量间接性经济损失,面宽小于3 m的灌排沟渠、公园、绿地、小区或单位自管等河道,其面积小于667 m^2 的水体^[17],一般未列入定期清理和巡查范畴,在每年5—8月是福寿螺的繁殖期,利于福寿螺的孳生扩散源,影响公共水域的景观环境。

1.3.2 生态影响指标

福寿螺对入侵水域生态功能的影响体现在三个方面:通过快速繁殖侵占本土螺类的生态位、破坏水质以及降低生物多样性,分别对应二级指标C5、C7和C8。

C5(生态位侵占)采用福寿螺河道覆盖率(%)来衡量,即发现福寿螺的河道面积占水体总面积的比例。覆盖率越高,说明对本土物种生态位的侵占程度越大。

C7(水体质量变化)采用劣质水体占比=1-优质Ⅲ类水体占比^[17],该指标的数值越大,表明福寿螺入侵导致的水质恶化程度越严重。

C8(生物多样性),采用底栖动物密度的倒数来衡量,其中,底栖动物包括福寿螺、本土螺类及水生昆虫等物种。该指标的数值越大,反映福寿螺入侵造成的生物多样性损失越显著。

C6(生态功能变化),采用福寿螺入侵时长进行评价,即首次发现入侵时间距今时长。该指标基于假设:发现入侵时间越早,对入侵水域生态

系统的影响越大。

1.3.3 社会影响指标

C9(辨识力),采用外来物种(含福寿螺)防控培训人次的倒数(=1/培训人次)来衡量。该指标认为培训人次越多,公众辨识能力越强,从而减少入侵危害,采用倒数则与社会影响成正比。

C10(关注度),采用2024年上海各区财政防控预算作为衡量指标。各区外来物种防控财政投入越高,表明其对入侵防控问题的关注度越高。

C11(社会恐慌),采用上海各区农委通报的处理市民上报福寿螺案件次数,反映公众对福寿螺入侵危害的担心和恐慌。

C12(健康风险),采用二元变量(0/1)来衡量行政区与福寿螺相关食品安全风险。上海疾控中心2023年发布的食源性疾病预警表明福寿螺携带大量寄生虫,存在食用安全隐患。2010—2024年官方通报,上海共记录3起案例:2017年浦东新区农贸市场售卖事件、2020年宝山区餐饮使用事件,2024年杨浦区烧烤店举报事件。若该行政区发生此类事件,赋值为1,否则为0。

1.4 权重设置:层次分析法

层次分析法将影响因素分多个层次,通过计算权重反映各因素的重要程度。

假设某一级指标对应n个下级指标,将下级的指标项标记为 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$,按1~9标度法得到判断矩阵 $A=[X_{ij}]_{n \times n}, i, j \in [1, n]$,由于指标项与自身相比重要性一样,判断矩阵对角线的值则为1,矩阵上三角元素是指标*i*相对于指标*j*的重要性分值,矩阵下三角是指标*j*和指标*i*相对重要性,利用矩阵的对称性,下三角是上三角的倒数。本研究采用层次分析法的算术平均值求权重。公式(1)计算初始权重 W ,即将判断矩阵A的每个元素除以所在列的各元素之和,对矩阵A进行归一化处理后得到新矩阵B,用新矩阵B每个元素除以所在行的各元素之和,得到特征向量 $W=(W_1, W_2, \dots, W_n)^T$;公式(2)计算判断矩阵的最大特征根 λ_{\max} ,公式(3)计算一致性指标 CI ,再用公式(4)计算一致性检验系数 CR ,当 $CR \leq 0.1$ 时,表明判断矩阵通过一致性检验,可进行后续分析,否则需要重新调整判断矩阵,直到满足一致性检验要求。

$$W = \frac{\bar{X}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{X}_i} = \frac{X_{ij}/\sum_{j=1}^n X_{ij}}{\sum_{i=1}^n \bar{X}_i} \quad (1)$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{AW_i}{nW_i} \quad (2)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

式中: RI 为随机平均一致性指标,当 $n=1, 2, 3, 4$ 时, RI 分别为 $0, 0, 0.58, 0.89$ 。由于本研究设置的准则层包含三项一级指标,因此,对应准则层 $n=3$ 及 $RI=0.58$;每个目标层包含4项二级指标,因此,对应目标层 $n=4$ 及 $RI=0.89$,分别代入公式(4)计算出相应的CR系数,用于检验权重设置的一致性。

2 层次分析结果

2.1 判断矩阵

首先,基于Saaty提出的9级重要性标度,对3个一级指标经济影响(B1)、生态影响(B2)和社会影响(B3)进行两两比较,构建判断矩阵。表3显示,经济影响(B1)的重要性显著高于生态影响(B2)和社会影响(B3),社会影响(B3)相对重要

性最低。

同理,对经济影响(B1)下4个二级指标进行两两比较,判断矩阵见表4,相对重要性依次为,直接经济损失(C1)>清除费用(C2)>间接经济损失(C4)>管控成本(C3)。

对生态影响(B2)下4个二级指标进行两两比较分析,判断矩阵如表5,相对重要性依次为,生态位变化(C5)>水质变化(C7)>生态功能(C6)>生物多样性(C8)。

对社会影响(B3)下4个二级指标进行两两比较分析,判断矩阵如表6,相对重要性依次为,公众辨识(C9)>关注度(C10)>社会恐慌(C11)>健康风险(C12)。

2.2 一致性检验及权重设置

采用AHP层次分析法对判断矩阵A进行归一化处理,得到特征向量 W ,其分量表示各指标对应权重;然后,根据特征方程 $AW=\lambda_{\max} \times W$,得出最大特征根 λ_{\max} 并计算一致性检验系数 CR 。结果显示, $CR<0.1$,权重设置均通过检验,结果详见表7。

表3 入侵综合影响评估一级指标判断矩阵
Tab. 3 Judgment matrix of tier-1 indicators

符号 Symbol	经济影响 B1 Economic impact	生态影响 B2 Ecologic impact	社会影响 B3 Social impact
B1	1.0	5.3	5.5
B2	0.2	1.0	5.5
B3	0.2	0.2	1.0

表4 经济影响(B1)评估二级指标判断矩阵
Tab. 4 Judgment matrix of economic impact for secondary indicators

符号 Symbol	直接经济损失 C1 Direct economic loss	清除费用 C2 Clean-up cost	管控成本 C3 Control cost	间接经济损失 C4 Indirect economic loss
C1	1.0	5.6	6.1	6.0
C2	0.2	1.0	5.5	5.8
C3	0.2	0.2	1.0	6.0
C4	0.2	0.2	0.2	1.0

表5 生态影响(B2)评估用二级指标判断矩阵
Tab. 5 Judgment matrix of ecologic impact for secondary indicators

符号 Symbol	生态位 C5 Niche	生态功能 C6 Ecological function	水质变化 C7 Water quality	多样性 C8 Diversity
C5	1.0	5.5	5.3	5.9
C6	0.2	1.0	5.6	5.5
C7	0.2	0.2	1.0	5.5
C8	0.2	0.2	0.2	1.0

表6 社会影响(B3)评估用二级指标判断矩阵
Tab. 6 Judgment matrix of social impact for secondary indicators

符号 Symbol	辨识度 C9 Recognition	关注度 C10 Attention	社会恐慌 C11 Social panic	健康风险 C12 Health risk
C9	1.0	5.4	5.5	5.8
C10	0.2	1.0	5.6	5.7
C11	0.2	0.2	1.0	5.3
C12	0.2	0.2	0.2	1.0

表7 入侵水生生物综合影响权重
Tab. 7 Weights of overall impacts for aquatic invasive species

一级指标 First indicator	符号 Symbol	特征向量 W Eigenvector	权重 W_{Bi} Weight	最大特征根 λ Max eigenvalue	一致性检验 CR Consistency test
经济影响 Economic impact	B1	2.2	0.7		
生态影响 Ecologic impact	B2	0.5	0.2	3.0	0.05
社会影响 Social impact	B3	0.3	0.1		
二级指标 Secondary indicator					
直接损失 Direct loss	C1	2.6	0.7		
清除费用 Clean up fee	C2	0.5	0.1	4.1	0.02
管控成本 Control cost	C3	0.5	0.1		
间接损失 Indirect loss	C4	0.4	0.1		
生态位 Niche	C5	2.6	0.6		
生态功能 Ecological function	C6	0.5	0.1	4.1	0.02
水质 Water quality	C7	0.6	0.2		
多样性 Diversity	C8	0.4	0.1		
辨识力 Recognition	C9	2.6	0.6		
关注度 Attention	C10	0.5	0.1	4.1	0.02
社会恐慌 Social panic	C11	0.6	0.1		
健康风险 Health risk	C12	0.4	0.1		

2.3 福寿螺入侵影响综合评分

首先对原始数据进行标准化处理,消除各指标量纲不一的影响。随后,通过公式(5)计算各指标的全局权重:

$$\omega_{ij} = W_{Bi} \times W_{Cj} \quad (5)$$

式中: W_{Bi} 表示准则层第 i 项一级指标的初始权重 ($i \in [1, 3]$, 分别对应经济、生态和社会影响); W_{Cj} 表示目标层第 j 项二级指标的初始权重 ($j \in [1, 12]$, 分别对应每个一级指标下 4 项二级指标); 各指标加权求和得出综合评分 F , $F > 0$ 表示该区域福寿螺入侵影响高于上海市平均水平; $F < 0$, 表示该区域入侵影响低于平均水平, 各区评分结果详见表 8。

综合评分结果显示, 上海各区受福寿螺入侵影响有显著差异, 按百分位数可划分 4 个梯队, 详见表 9。第一梯队是影响最大的崇明, 百分位数

99%; 第二梯队影响中等, 包括松江、金山、浦东、青浦和奉贤, 百分位数 47%~68%; 第三梯队影响较小, 包括宝山、闵行和嘉定, 百分位数 22%~26%; 第四梯队是影响最小的中心城区, 百分位数低于 10%。

3 结论与对策

3.1 入侵影响因素差异

3.1.1 准则层(一级指标)影响因素

权重分析结果(表 7)显示, 专家普遍认为福寿螺入侵最重要的是经济影响, 这种共识的形成可能源于经济损失评估具有直观性和可量化的特征; 其次, 生态和社会影响的量化有难度而且不确定性高。

表8 上海各区福寿螺入侵影响评分
Tab. 8 Assessment scores of pomacea canaliculata invasion impact by district in Shanghai

二级指标 Secondary indicator	全局权重 Overall weight	行政区 District										中心城区 Central urban
		Baoshan	Chongming	Fengxian	Jinshan	Jiading	Minghang	Pudong	Qingpu	Songjiang		
直接损失 Direct loss	0.5	1.2	23.5	10.5	12.8	3.2	1.1	5.8	9.6	12.2	0	
清除费用 Cleanup fee	0.1	4.5	11.4	4.4	2.3	1.2	0.9	12.2	4.4	3.7	0.8	
管控成本 Control cost	0.1	85	320	25	130	78	250	80	48	150	30	
间接损失 Indirect loss	0.1	0.8	26.5	5.7	2.1	0.7	0.9	6.1	2.7	2.1	0.5	
生态位 Niche	0.1	65%	50%	54%	75%	70%	70%	85%	80%	80%	40%	
生态功能 Ecological function	0.02	2010	2013	2008	2007	2008	2005	2006	2004	2003	2006	
非优Ⅲ水体占比 Proportion of non-Class Ⅲ water bodies	0.03	0	11.1%	0	0	0	0	22.0%	0	3.7%	0	
多样性 Diversity	0.02	1/1600	1/1500	1/2300	1/2200	1/2000	1/1800	1/3000	1/2000	1/2500	1/1200	
辨识力 Recognition	0.07	1/60	1/50	1/200	1/1500	1/1200	1/790	1/1200	1/2600	1/3300	1/4800	
关注度 Attention	0.01	270	500	300	150	120	120	400	200	350	300	
社会恐慌 Social panic	0.02	63	215	217	200	120	144	326	127	89	406	
健康风险 Health risk	0.01	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
综合评分 F Scoring	-0.4	1.6	-0.05	0.2	-0.5	-0.5	0.2	0.06	0.3	-0.9		

表9 上海各区福寿螺入侵危害评分排序
Tab. 9 Ranking of pomacea canaliculata invasion scoring by district in Shanghai

梯队 Tier	上海各区 District in Shanghai	综合评分 Scoring	标准值 Z-score	百分位数 Percentile
I	崇明区	1.6	2.3	99.0%
II	松江区	0.3	0.5	68.0%
III	金山区	0.2	0.4	64.0%
III	浦东区	0.2	0.3	61.0%
II	青浦区	0.1	0.1	53.0%
II	奉贤区	-0.1	-0.1	47.0%
III	宝山区	-0.4	-0.7	26.0%
III	闵行区	-0.5	-0.7	25.0%
III	嘉定区	-0.5	-0.8	22.0%
IV	中心城区	-0.9	-1.3	9.0%

3.1.2 目标层(二级指标)影响因素

如表10所示,全局权重排名前5的因素依次为:(1)直接经济损失(C1),(2)生态位变化(C5),(3)管控成本(C3),(4)清除费用(C2),(5)公众辨识力(C9)。经济影响有3项指标进入前5,即C1、C3、C2,显示经济维度在入侵评估中的主导地位。“间接损失(C4)”列第6,是各项经济指标中重要性最低的,采用“小微水体面积”量化C4,此类水体面积较小,一般不会纳入常规管控范围(C3)或定期清理区域(C2)。生态影响中生态位占据(C5)位列全局权重第二,采用“河道覆盖率”量化该指标,反映福寿螺对入侵水域生态系统的侵占

程度。社会影响中公众辨识力(C9)的重要性最大,说明加强科普教育和专业培训可提升公众识别能力,降低福寿螺入侵带来的社会风险。

3.2 入侵影响区域差异

本研究发现上海各区域受福寿螺入侵影响程度存在显著差异,详见表8和表9。其中,中心城区的入侵影响最小,崇明区的入侵影响最大。入侵空间分布特征可能与以下因素有关:(1)与上海水系特征有关。上海市地处长江和太湖流域下游,河网密布,水系发达,拥有内河河道4万余条^[17]。福寿螺偏好栖息于流速缓慢或静止的淡水环境(如水沟、鱼塘、农田等)。其中,崇明河道总

长9304.5 m,占全市38%;河网密度达7.9 km/km²,远高于全市平均河网密度4.8 km/km²。中心城区河道总长约347 km,仅占全市的1.1%,其河网密度较低,为1.1 km/km²^[17]。这些数据表明,河道长度和河网密度可能是影响福寿螺入侵危害程度的关键因素,也提示崇明为全市福寿螺防控的重点区域。(2)与上海农业生产分布有关。福寿螺

主要啃食水生植物、破坏农田、影响水生植物生长,如:水稻、菱角、茭白等。入侵影响评分高于上海全域平均水平的5个区域分别是崇明、松江、金山、浦东和青浦,其中,5区稻谷种植面积之和占上海全市种植总面积的76.8%,5区水生蔬菜种植合计占比高达98.7%,表明这5个区是上海粮食和特色水生蔬菜的核心生产区^[18]。

表10 评估用各级指标全局权重排序
Tab. 10 Ranking of overall weight for evaluation at all levels

符号 Symbol	二级指标 Indicator	全局权重 Overall weight	参数(单位) Indicator (unit)
C1	直接损失	0.50	水稻面积/万hm ²
C5	生态位	0.10	福寿螺在河道覆盖率/%
C3	管控成本	0.10	2023年福寿螺防控支出/(万元/年)
C2	清除费用	0.09	其他河道面积/km ²
C9	辨识力	0.07	1/外来物种防控培训/(人次/年)
C4	间接损失	0.07	小微水体面积/km ²
C7	水质变化	0.03	1-优III类水体占比/%
C6	生态功能	0.02	首次记录福寿螺爆发距今时长/年
C8	生物多样性	0.02	1/底栖动物多样性密度/(m ² /ind)
C11	社会恐慌	0.02	处理福寿螺举报/(次数/年)
C10	关注度	0.01	2024年福寿螺防控预算/(万元/年)
C12	健康风险	0.01	食用安全报道(0/1)

3.3 研究结论

外来生物入侵的影响可从经济、生态和社会3个维度进行评估。虽然生态影响的长期后果可能比短期经济损失更为严重,但经济影响更直观、可量化、更易评估,而生态影响和社会影响缺乏统一量化标准且不确定性较高,因而难以准确衡量。本研究采用AHP层次分析法,对福寿螺入侵的这3方面影响进行赋权分析。结果显示,专家赋予经济影响的权重(0.7)显著高于生态影响(0.2)和社会影响(0.1)。在12项评分用二级指标中,全局权重排名前5的指标依次为:直接经济损失(C1)、生态位变化(C5)、管控成本(C3)、清除费用(C2)和公众辨识力(C9),经济影响的核心指标为直接经济损失、管控成本和清除费用,凸显福寿螺入侵对经济资源的直接消耗与管控投入;生态影响最重要的衡量指标是生态位变化,本研究采用福寿螺在入侵河道的覆盖密度来量化,反映其对本地生态系统的占据与竞争程度;社会影响的关键指标是公众辨识力,体现大众对入侵物种的认知水平,直接影响入侵防控参与效率。这一权重分布表明,福寿螺入侵评估更侧重于经济

成本的量化,而生态和社会影响虽权重较低,但其长期潜在风险仍需重视,尤其是生态位变化可能引发的连锁反应。

福寿螺入侵影响评分结果显示,高于全市平均水平的各区,分别是崇明、松江、金山、浦东和青浦。其中,崇明(1.6)受入侵影响最大,可作为重点防控区;松江(0.3)、金山(0.2)和浦东(0.2)受入侵影响中等,可采取针对性监控;青浦(0.1)略高于平均水平,可列入基础防控范畴;上海中心城区受入侵影响最低(-0.9),可采用社区和政府部门协同治理。考虑到福寿螺入侵对主产区的威胁,可能直接影响上海粮食安全及特色农产品供应链,因此,优先防控聚焦在崇明、松江、金山、浦东等农业主产区。

3.4 对策建议

基于入侵影响评估结果,建议上海福寿螺入侵防控实施分级、分区的差异化策略,提高入侵防控效率,优化资源利用。核心准则是:(1)优先控制直接经济损失;(2)兼顾经济影响与生态影响的双重目标,覆盖生态敏感区;(3)社会参与补位;(4)按评分梯队部署防控等级。主要防控措施包括:(1)在核心防控区域设立农业面源福寿

螺专项清理,减少直接经济损失。如:在水稻主产区崇明和金山插秧前集中灭螺;在水生蔬菜主产区青浦设置隔离过滤网,适当投放青鱼、甲鱼、河蟹等以福寿螺为饵的养殖品种。(2)合理分配防控资源,加强生物安全立法。上海中心城区因非农业属性,入侵防控支出少,仍需警惕人为引入导致的零星入侵风险,可通过加强生物安全立法,遏制人为入侵扩散。(3)设立补偿机制:对受灾农户提供补贴,鼓励主动上报与清理。同时,设立举报奖励制度,鼓励上海市民通过12345市民热线上报入侵物种。(4)构建常态化监测与应急响应设施。如:利用无人机遥感与人工巡检相结合,建立“河道-农田”联动监测网格;在崇明、浦东试点智能预警系统,利用AI技术识别福寿螺卵块;加强“西片(青浦-松江-金山)”和“东片(崇明-浦东)”的跨区联防联控。(5)提升公众入侵防控意识,针对社区居民、农户开展辨识培训(如卵块特征、无害化处理示范);通过“上海农业”APP推送防控指南,提高公众对外来入侵生物的辨识力,通过早识别、早发现,有效降低入侵带来的社会影响、减少直接经济损失、及时控制生态影响的扩散。总之,防控资源的有效配置,与区域入侵影响评分、农业经济权重及生态敏感性相匹配,实现福寿螺入侵精准治理。

作者声明本文无利益冲突。

参考文献:

- [1] THOMAS S M. Invasive alien species: a rising global threat that needs control[J]. *The Lancet Planetary health*, 2023, 17(11): e875-e876.
- [2] LUQUE G M, BELLARD C, BERTELSMEIER C, et al. The 100th of the world's worst invasive alien species [J]. *Biological Invasions*, 2014, 16(5): 981-985.
- [3] 农业农村部. 农业农村部自然资源部生态环境部住房和城乡建设部海关总署国家林草局. 农业农村部公告第567号 [EB/OL]. (2022-12-20). http://www.moa.gov.cn/govpublic/KJJYS/202211/t20221109_6415160.htm
- [4] 中国生态环境部. 2024年《中国生态环境状况公报》[EB/OL]. (2025-5-29) <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202506/P020250604527010717462.pdf>
- [5] Ministry of Ecology and Environment of China. The Bulletin on the State of China's Ecological Environment in 2024 [EB/OL]. (2025-5-29) <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202506/P020250604527010717462.pdf>
- [6] 张晴柔,蒋赏,鞠瑞亭,等. 上海市外来入侵物种[J]. 生物多样性, 2013, 21(6): 732-737.
- [7] ZHANG Q R, JIANG S, JU R T, et al. Diversity of invasive species in Shanghai [J]. *Biodiversity Science*, 2013, 21(6): 732-737.
- [8] 周宇,袁雪颖,杨子轩,等. 福寿螺入侵中国的扩散动态及潜在分布[J]. 湖泊科学, 2018, 30(5): 1379-1387.
- [9] ZHOU Y, YUAN X Y, YANG Z X, et al. Spread pattern and potential distribution of the invasive species Pomacea spp. in China [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2018, 30(5): 1379-1387.
- [10] 胡国成,许木启,戴家银,等. 我国外来水生生物入侵现状及其影响[J]. 生物学通报, 2007, 42(8): 1-3.
- [11] HU G C, XU M Q, DAI J Y, et al. Current Status and Impacts of Invasive Aquatic Species in China [J]. *Biological Bulletin*, 2007, 42(8): 1-3.
- [12] 刘莹玉. 外来水生生物入侵的现状、危害及防治措施[J]. 山西农经, 2017(4): 67.
- [13] LIU Y Y. Current status, hazards, and control measures of invasive aquatic species [J]. *Shanxi Agricultural Economy*, 2017(4): 67.
- [14] 王亚民,曹文宣. 中国水生外来入侵物种对策研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(1): 7-13.
- [15] WANG Y M, CAO W X. The strategies of aquatic Invasive Alien Species (IAS) in China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(1): 7-13.
- [16] 刘婷婷,张洪军,马忠玉. 生物入侵造成经济损失评估的研究进展[J]. 生态经济, 2010(2): 173-175, 178.
- [17] LIU T T, ZHANG H J, MA Z Y. Assessment of economic damage from biological invasion[J]. *Ecological Economy*, 2010(2): 173-175, 178.
- [18] 俞红,王红玲,喻大昭,等. 中国外来物种入侵的社会经济影响因素及区域比较分析 [J]. 统计与决策, 2011(17): 107-109.
- [19] YU H, WANG H L, YU D Z, et al. Socio-economic influencing factors and regional comparative analysis of invasive alien species in China [J]. *Statistics & Decision*, 2011(17): 107-109.
- [20] 温玄烨,林晓,赵光华,等. 1970—2017年全球森林生物入侵的经济成本评估[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2024, 44(3): 175-181.
- [21] WEN X Y, LIN X, ZHAO G H, et al. Economic cost assessment of global forest alien invasive species from 1970 to 2017[J]. *Journal of Southwest Forestry University*

- (Natural Sciences), 2024, 44(3): 175-181.
- [13] 王婵娟, 宋增福, 鲁仙, 等. 我国福寿螺入侵现状和防控研究进展[J]. 生物安全学报, 2021, 30(3): 178-182.
WANG C J, SONG Z F, LU X, et al. The invasion and control of *Pomacea canaliculata* in China[J]. Journal of Biosafety, 2021, 30(3): 178-182.
- [14] 方萍萍, 张莉侠. 上海市水稻产业发展的现状、问题与对策建议[J]. 上海农村经济, 2024(1): 34-36.
FANG P P, ZHANG L X. Current status, challenges and countermeasures of rice industry development in Shanghai [J]. Shanghai Rural Economy, 2024(1): 34-36.
- [15] 上海市生态环境局. 2023上海市生态环境状况公报[EB/OL]. (2024-06-05). <https://sthj.sh.gov.cn/hbzhywpt1143/hbzhywpt1144/20240605/3aa7abac13f8440ba5eff23466e6f82d.html>.
Shanghai Municipal Bureau of Ecology and Environment. 2023 Shanghai ecological and environmental status bulletin [EB/OL]. (2024-06-05). <https://sthj.sh.gov.cn/hbzhywpt1143/hbzhywpt1144/20240605/3aa7abac13f8440ba5eff23466e6f82d.html>.
- [16] 上海市农业农村委员会, 上海市绿化和市容管理局, 上海海关, 等. 关于印发《上海市进一步加强外来物种入侵防控工作方案》的通知[EB/OL]. (2022-07-07).
<https://nykjh/20220707/2ee29aa3b0c045e79c77588e778b0407.html>.
- [17] Shanghai Municipal Commission of Agricultural and Rural Affairs, Shanghai Landscaping & City Appearance Administrative Bureau, Shanghai Customs, et al. Notice on Issuing the "Work Plan for Further Strengthening the Prevention and Control of Invasive Alien Species in Shanghai" [EB/OL]. (2022-07-07). <https://nykjh/20220707/2ee29aa3b0c045e79c77588e778b0407.html>.
- [18] 上海市水务局上海市海洋局. 2024上海市河道(湖泊)报告[EB/OL]. (2025-01-15). <https://swj.sh.gov.cn/hhbgb/20250115/cb58fae6593744198843ed184a37d946.html>.
Shanghai Water Authority. 2024 annual report on river and lake ecosystems in Shanghai[EB/OL]. (2025-01-15). <https://swj.sh.gov.cn/hhbgb/20250115/cb58fae6593744198843ed184a37d946.html>.
- [18] 上海市农业农村委员会. 2024年上海郊区统计年鉴[R]. 上海: 上海市农业农村委员会, 2024: 37, 44-45.
Shanghai Agriculture and Rural Affairs Bureau. 2024 Shanghai suburb statistical yearbook [R]. Shanghai: Shanghai Agriculture and Rural Affairs Bureau, 2024: 37, 44-45.

Assessing the comprehensive impact of *Pomacea canaliculata* invasion in Shanghai using analytic hierarchy process

ZHANG Zhenyu

(College of Economics & Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: This study constructs a comprehensive evaluation system to assess the impact of aquatic invasive species from three dimensions: economic, ecological, and social impacts. First, a questionnaire was distributed using stratified sampling to collect expert assessments on the relative importance of influencing factors. Analytic hierarchy process (AHP) was applied to determine the weights. The results revealed that the economic impact (0.72) was considered more significant than ecological (0.17) and social impacts (0.11). Top five influencing factors were direct economic losses (0.47), niche occupation (0.11), control costs (0.09), eradication expenses (0.08) and public awareness (0.067). Next, the impact of *Pomacea canaliculata* invasion in Shanghai was scored across districts. Areas with scores exceeding percentile 50 included Chongming (P_{99}), Songjiang (P_{68}), Jinshan (P_{64}), Pudong (P_{61}), and Qingpu (P_{53}). In conclusion, a district-diversified and level-specific strategy is proposed for preventing *Pomacea canaliculata* invasion in Shanghai, guided by the principles of prioritizing economic impact, protecting ecologically sensitive areas, and incorporating public participation.

Key words: *Pomacea canaliculata*; aquatic biological invasion; impact assessment framework; analytic hierarchy process; Shanghai