

水工环地质

山东省潍坊市北部海域 海洋牧场选址适宜性

宋委^{1,2,3}, 吴振^{1,2,3}, 杜振明¹, 刘荣波^{1,2,3*}, 祝子惠^{1,2,3}, 赵金明¹, 程世秀^{1,2,3}

(1. 山东省地质矿产勘查开发局第四地质大队, 山东 潍坊 261021; 2. 潍坊市海岸带地下水及地质环境保护与修复重点实验室, 山东 潍坊 261021; 3. 山东省地质矿产勘查开发局海岸带地质环境保护重点实验室, 山东 潍坊 261021)

摘要:为评估山东省潍坊市北部海域海洋牧场的选址适宜性,促进该区域海洋资源的可持续利用和海洋经济的高质量发展。本文依托山东省地勘项目,在山东省潍坊市北部海域开展的单波束测量、底质和海水取样等调查工作,结合海洋环境、工程地质、社会经济等多维度数据,创新地构建了“层次分析+判定”的海洋牧场选址适宜性多元评价体系。研究结果表明,潍坊市北部海域适宜建设底播型、投礁型和田园型三种类型的海洋牧场。底播型海洋牧场的适宜区主要分布在研究区的南部和北部,累计面积 634.77 km²,占全区面积的 58.79%;投礁型海洋牧场的适宜区主要分布在研究区的南部,累计面积 294.60 km²,占全区面积的 27.29%;田园型海洋牧场的适宜区主要分布在研究区的南部和北部,累计面积 534.75 km²,占全区面积的 49.53%。研究区建设海洋牧场潜力大,但选址需综合考虑工程地质、航道、生态红线和海洋特别保护区等因素。本研究为区域海洋牧场建设规划提供了关键参考意见,填补了该区域多类型海洋牧场选址综合评价的空白,对推动海洋渔业可持续发展具有重大意义。

关键词:海洋牧场; 选址适宜性评价; 层次分析法; 判定法; 潍坊市北部海域

中图分类号:P736

文献标识码:A

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2025.06.007

0 引言

海洋牧场作为海洋渔业发展的重要方向,是实现海洋生物资源可持续利用、促进海洋经济高质量发展的重要举措^[1-3]。山东省作为我国海洋大省,拥有丰富的海洋资源和优越的自然条件,在海洋牧场建设方面走在全国前列^[4-5]。潍坊市作为山东省海洋经济发展的重要区域,拥有广阔的北部海域,具备发展海洋牧场的巨大潜力^[6-9]。

前人对潍坊市北部海域及周边区域的海洋牧场选址研究主要集中在海洋环境、渔业资源和生态保护等方面。有学者对莱州湾和渤海湾的海洋环境、渔业资源进行了详细调查,提出了海洋牧场选址的初步建议^[10],也有学者从生态保护的角度,探讨了莱州湾海洋牧场选址与生态红线的协调问题^[11]。然

而,目前针对潍坊市北部海域的研究相对较少,且存在一些不足。一方面,现有研究大多聚焦于单一类型海洋牧场的选址,缺乏对多种类型海洋牧场选址适宜性的综合对比分析;另一方面,在评价过程中,对该区域复杂的海洋环境和多样的限制因素考虑不够全面,难以精准地为潍坊市北部海域海洋牧场建设提供科学指导。本文依托“山东省潍坊市北部海域海底沉积物地球化学调查”项目,在资料收集、单波束测量、海水取样和底质取样等基础上,对潍坊市北部海域自然环境、社会经济、海洋功能区划等方面开展综合分析,构建科学合理的海洋牧场选址适宜性评价指标体系,并运用适当的评价方法对该区域进行海洋牧场选址适宜性评价,最终提出海洋牧场选址方案建议,为潍坊市北部海域海洋牧场建设提供科学依据和决策支持。

收稿日期:2025-03-26; 修订日期:2025-05-09; 编辑:武昕普

基金项目:2022 年省级地质勘查项目“山东省潍坊市北部海域海底沉积物地球化学调查”(鲁勘字[2022]44 号)

作者简介:宋委(1988—),男,江苏睢宁人,高级工程师,主要从事海洋地质调查研究工作;E-mail: songwei842@163.com

* 通信作者:刘荣波(1986—),男,山东寿光人,高级工程师,主要从事海洋地质调查研究工作;E-mail: liurongbo714@163.com

1 研究区概况

研究区地处渤海莱州湾的南侧,总面积为 1 079.79 km²。该区域是山东省重要的渔业和海盐生产基地,沿岸的潍坊港、下营港和羊口港是山东省的重要港口,具有重要的经济和战略地位。莱州湾的形成受郯城-庐江大断裂带的控制,属于断块凹陷形成的 NNE 向海湾,黄河、小清河、潍河等多条河流在此注入^[12]。

研究区域的海底地形较为平坦,由于河流携带大量泥沙的沉积作用,大部分海域水深在 5~12 m 之间,平均潮差为 0.90 m,最大潮差可达 2.20 m,区域内多分布沙土浅滩。潍河、胶莱河、白浪河、弥河以及黄河等河流的泥沙输入,使得海底沉积速度加快,浅滩范围逐渐扩大,海水深度变浅,湾口距离也在不断缩短。此外,研究区域在冬季会出现结冰现象,冰层厚度约为 15 cm 左右^[13]。

2 工作方法

2.1 数据来源

2022 年 9 月至 2023 年 4 月,山东省地质矿产勘查开发局第四地质大队在研究区开展了 1 240 km 单波束测量,100 站位海洋水文调查,采集海水水样 104 站位,海底表层样 280 站位。样品的采集、保存、运输和预处理按照我国《海洋调查规范》和《海洋监测规范》中规定的方法进行。

单波束测量采用的仪器为 Echotrac CVM 双频测深仪,利用在测区潍坊港码头东侧布设临时验潮点数据进行潮位改正。选取了 220 个主测线与联络测线之间的重合点检查,重合点深度对比互差值实际为 0.28 m,小于 0.3 m,合格率 100%,满足规范要求。海洋水文主要开展海水温度、盐度、密度、浊度等海洋水文要素调查,仪器为意大利 IDRO-NAUT 公司的 CTD 304 Plus,调查前对仪器进行了矫正,调查时现场读取数据,对数据进行甄别,满足精度要求。海底表层沉积物和海水样品测试在山东省地质矿产勘查开发局第四地质大队完成,样品的制备、测试、质量控制等严格按照相关规范执行,实验测试数据准确可靠。

2.2 海洋牧场选址适宜性评价体系

本文采用“层次分析+判定”的多元评价体系,

以通过判定的方式,让绝对制约型因子充分发挥条件制约的作用,从而得到更加科学、可靠、客观、合理的评价结果^[14-16]。

评价因子的选择遵循科学性、系统性、可操作性和区域特殊性原则。首先基于文献综述和专家咨询,全面收集与海洋牧场选址相关的潜在评价因子,涵盖海洋水文、海水质量、地形地貌、海底沉积物、地层结构、生物因素和社会经济等 7 个方面。然后邀请海洋生态、渔业资源和海洋工程领域的专家,结合研究区特有的水文地质特征,对潜在评价因子进行筛选,最终选定 7 个一级因子和 23 个二级因子(图 1),通过建立逐对比较矩阵计算各因子权重,构建层次结构模型^[17-19],计算海洋环境适宜性分值 SD。

$$SD = l_1 W_1 + l_2 W_2 + l_3 W_3 + \dots + l_n W_n \quad (1)$$

式中: l_n 为二级因子的权重; W_n 为二级因子的赋值。判定是对各类型海洋牧场限定条件进行二元化赋值^[20-21],符合条件赋值为 1,不符合为 0,通过公式计算判定结果 F 。

$$F = y_1 \times y_2 \times y_3 \times \dots \times y_n \quad (2)$$

式中: y_n 为判定指标因子赋值。最终根据公式 $H = SD \cdot F$ 计算海洋牧场环境适宜性分值 H ,并将评价结果分为 4 级:适宜区、较适宜区、不适宜区和禁养区(表 1)。

表 1 海洋牧场环境适宜性评价分区标准表

分区	适宜区	较适宜区	不适宜区	禁养区
分值标准	$2.4 < H \leq 3.0$	$1.8 < H \leq 2.4$	$0 < H \leq 1.8$	0

3 分析评价

依据不同类型海洋牧场的生产方式,结合前人的研究、海区渔业状况、海洋环境特征和数据获取的可行性、经济性、适用性^[22-23],本研究以底播型海洋牧场为范例进行详细的分析评价,投礁型和田园型海洋牧场评价过程与底播型类似。

3.1 底播型海洋牧场选址适宜性评价

3.1.1 海洋环境评价

根据底播型海洋牧场对环境的需求特征^[24],选取 6 大类一级指标因子 21 个二级指标因子。根据专家咨询意见和相关参考文献,指标的赋值分为 4 级,分别为 3、2、1 和 0。如水温 20~30℃、流速 0.3~1.0 m/s 赋值 3,水温 15~20℃、流速 1.0~1.5 m/s 赋值 2 等。部分指标赋值结果见图 2。

3.1.2 底播型各评价因子权重

基于判断矩阵,建立环境适宜性的层次结构模

型,计算得到各评价指标的权重(表 2)。

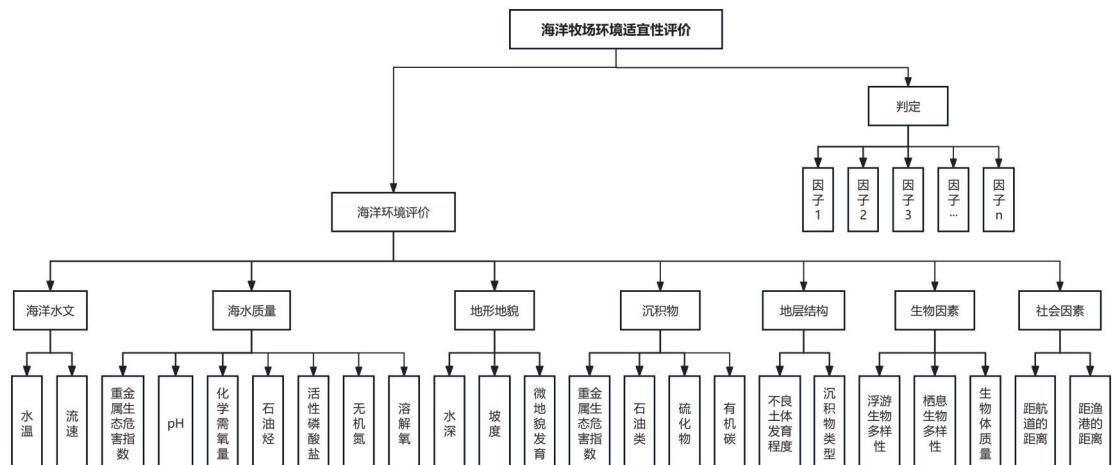
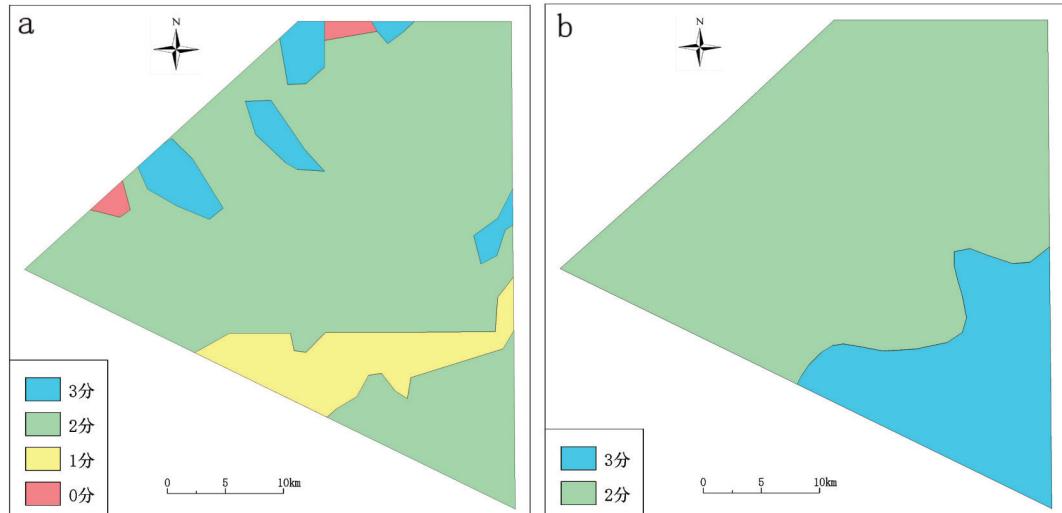


图 1 海洋牧场环境适宜性评价体系架构图



a—底层海水化学需氧量赋值;b—表层沉积物重金属潜在生态危害赋值。

图 2 研究区赋值结果图

表 2 底播型一级因子对决策目标层的判断矩阵及权重系数

评价因子	海洋水文	海水质量	地形地貌	沉积物	生物因素	社会因素	权重
海洋水文	1	1/2	1/4	1/4	1/2	4	0.0816
海水质量	2	1	1/2	1/2	1	8	0.1633
地形地貌	4	2	4	4	2	16	0.2857
沉积物	4	2	4	4	2	16	0.3265
生物因素	2	1	1/2	1/2	1	8	0.1224
社会因素	1/4	1/8	1/16	1/16	1/8	1	0.0204

3.1.3 判定评价因子

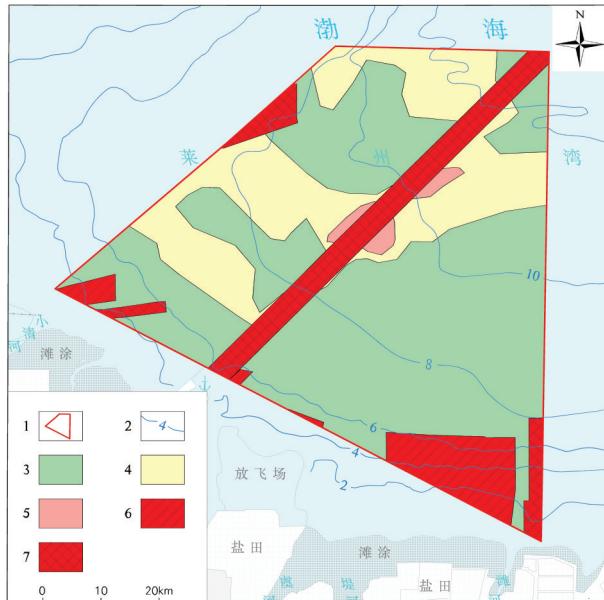
选取水深、距航道的距离、生态红线、海洋特别保护区 4 个因子判定底播型海洋牧场能否建设,选取生物体质量判定拟建的底播型海洋牧场生产的水产品是否会对人类生命、健康产生威胁。具体赋值

如下:①水深 >30 m 赋值为 0,水深 $\leqslant 30$ m 赋值为 1;②生物体质量不达标赋值为 0,生物体质量达标赋值为 1;③距航道的距离 <1 km 赋值为 0,距离 ≥ 1 km 赋值为 1;④生态红线区内赋值为 0,生态红线区外赋值为 1;⑤海洋特别保护区内赋值为 0,海洋特别保护区外赋值为 1。

3.1.4 底播型海洋牧场环境适宜性分区划分

将赋值后的各评价指标,在相同的边界条件下,按适宜的网格分成若干单元,乘各自的权重值,计算出海洋牧场海洋环境评价分值 SD ,经判定后得到结果 H ,将 H 分值分为 4 级,适宜区、较适宜区、不适宜区、禁养区(图 3)。从图中可以看出,底播型海

洋牧场环境适宜区大面积分布于调查区的南部及北部, 累计面积 634.77 km^2 , 占全区面积 58.79%; 不适宜区分布于调查区中部, 呈碎块状分布, 累计面积 12.73 km^2 , 仅占全区面积 1.18%; 较适宜区分布于适宜区与不适宜区之间, 累计面积 258.49 km^2 , 占全区面积 23.94%; 禁止区为判定因子主导, 总计 173.69 km^2 , 占全区面积 16.09%, 其中因受航道限定面积为 95.97 km^2 , 因受生态红线、海洋物种保护区限定面积为 77.72 km^2 。



1—研究区范围;2—等深线;3—适宜区;4—较适宜区;5—不适宜区;6—生态红线禁止区;7—航道禁止区。

图 3 底播型海洋牧场建设适宜性分区图

分析发现, 研究区南部和北部海域水深、沉积物条件适宜海珍品生长繁殖, 且远离航道等干扰源, 为底播型海洋牧场的建设提供了良好的基础条件。而中部不适宜区可能是由于局部海水水质、沉积物质量不佳, 或者受到人类活动干扰较多所致。

3.2 投礁型和田园型海洋牧场选址适宜性评价

以上为底播型海洋牧场分析评价具体过程, 投礁型和田园型海洋牧场适宜性评价同上述类型类似, 限于篇幅, 在此不具体展开, 现把分析评价结果陈述如下。

3.2.1 投礁型海洋牧场选址适宜性评价结果

投礁型增加了地层结构指标体系, 包括沉积物类型和不良土体发育程度, 共 7 个一级因子和 23 个二级因子。投礁型海洋牧场环境适宜区主要大面积分布于研究区的南部(图 4a), 累计面积

294.60 km^2 , 占全区面积 27.29%; 不适宜区小面积分布于研究区北部, 面积 11.63 km^2 , 仅占全区面积 1.08%; 较适宜区分布于研究区北部, 累计面积 55.58 km^2 , 占全区面积 5.15%; 禁止区为判定因子主导, 总计 717.86 km^2 , 在全区分布面积占主导地位, 占全区面积 66.48%, 其中因受航道限定面积为 242.56 km^2 , 受生态红线、海洋物种保护区限定面积为 77.72 km^2 , 受不良土体限定面积为 106.29 km^2 , 受沉积物粒径限定面积为 286.76 km^2 , 受水深限定面积为 4.53 km^2 。除受生态红线及航道影响以外, 工程地质因素是投礁型海洋牧场主要限制因素, 西北部及中部大面积禁止区均为工程地质因素引起。

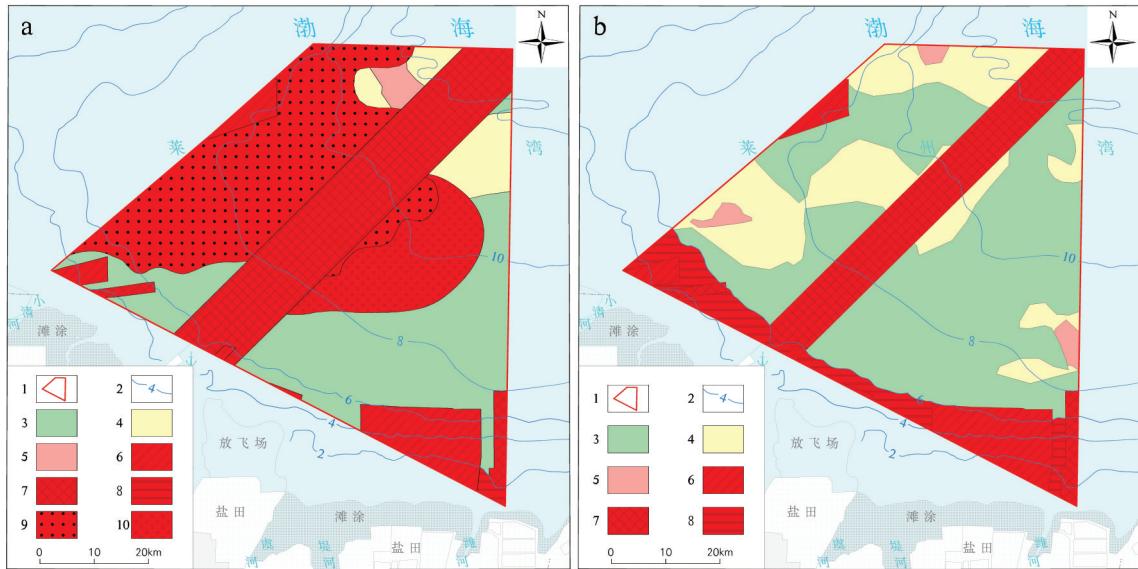
研究区南部海域水深、沉积物粒径等条件有利于礁体稳定, 适合投礁型海洋牧场建设^[25]。北部大面积禁养区主要是因为工程地质因素, 如沉积物粒径不符合要求、存在潜在不良土体等, 这表明在投礁型海洋牧场选址时, 工程地质条件的考量至关重要, 若不满足要求, 会极大地限制牧场建设。

3.2.2 田园型海洋牧场选址适宜性评价结果

田园型适宜性评价指标体系与投礁型一致, 共 7 个一级因子和 23 个二级因子。不同的是海水质量指标体系中, 底播型、投礁型选用的为底层水水质质量, 田园型是综合型立体、生态、循环增养殖的海洋牧场, 所以选用表层水和底层水混合水质质量。田园型海洋牧场环境适宜区主要大面积分布于调查区的南部和北部, 被航道禁止区切割(图 4b), 累计面积 534.75 km^2 , 占全区面积 49.53%; 不适宜区于调查区西部、北部及东南边界处有小面积碎块状, 累计面积 16.92 km^2 , 仅占全区面积 1.57%; 较适宜区主要分布于中部与北部, 呈东西向展布, 累计面积 217.39 km^2 , 占全区面积 20.13%; 禁止区为判定因子主导, 总计 310.62 km^2 , 在全区分布面积占主导地位, 占全区面积 28.77%, 其中因受航道限定面积为 167.87 km^2 , 受生态红线、海洋物种保护区限定面积与前两种类型的海洋牧场受限面积一致, 为 77.72 km^2 , 除此之外, 另受水深限定面积为 65.03 km^2 。

研究区南部和北部适宜区的形成得益于其相对适宜的水深、良好的水质和生物多样性条件, 有利于开展立体生态养殖^[26-27]。而西部、北部及东南边界处的不适宜区, 可能是由于局部水深不适宜或者受

到人类活动干扰,影响了生态养殖环境。



a—投礁型;b—田园型;1—研究区范围;2—等深线;3—适宜区;4—较适宜区;5—不适宜区;6—生态红线禁止区;7—航道禁止区;8—水深禁止区;9—粒径禁区;10—不良土体禁区。

图 4 投礁型和田园型海洋牧场建设适宜性分区图

4 结论与讨论

(1) 底播型海洋牧场适宜区主要分布在研究区的南部和北部, 累计面积 634.77 km^2 , 占全区面积的 58.79%。不适宜区主要分布在研究区中部, 呈碎块状分布, 累计面积 12.73 km^2 , 占全区面积的 1.18%。禁止区主要受航道、生态红线和海洋特别保护区的限制, 累计面积 173.69 km^2 , 占全区面积的 16.09%。

(2) 投礁型海洋牧场适宜区主要分布在研究区的南部, 累计面积 294.60 km^2 , 占全区面积的 27.29%。不适宜区主要分布在研究区北部, 面积 11.63 km^2 , 占全区面积的 1.08%。禁止区主要受航道、生态红线、海洋特别保护区、不良土体和沉积物粒径的限制, 累计面积 717.86 km^2 , 占全区面积的 66.49%。

(3) 田园型海洋牧场适宜区主要分布在研究区的南部和北部, 累计面积 534.75 km^2 , 占全区面积的 49.53%。不适宜区主要分布在研究区西部、北部及东南边界处, 累计面积 16.92 km^2 , 占全区面积的 1.57%。禁止区主要受航道、生态红线、海洋特别保护区和水深的限制, 累计面积 310.62 km^2 , 占全区面积的 28.77%。

与其他地区海洋牧场选址研究相比, 本研究针

对潍坊市北部海域的多种类型海洋牧场进行综合评价, 充分考虑了该区域复杂的海洋环境和多样的限制因素, 填补了区域研究空白, 为后续该区域海洋牧场建设规划的进一步细化和优化提供了重要参考。从实践指导价值来看, 研究结果能帮助决策者合理规划海洋牧场布局, 降低建设和运营风险, 提高经济效益、生态效益和社会效益, 促进海洋渔业可持续发展。同时, 本研究构建的评价体系和方法也可为其他类似海域的海洋牧场选址适宜性评价提供借鉴, 推动海洋牧场建设领域的研究和实践发展。

参考文献:

- [1] 易卫华, 李思阳. 我国海洋牧场发展现状及典型模式研究[J]. 中国渔业经济, 2024, 42(4): 51–60.
- [2] 陈不茂, 舒黎明, 袁华荣, 等. 国内外海洋牧场发展历程与定义分类概述[J]. 水产学报, 2019, 43(9): 1851–1869.
- [3] 刘崇焕, 程前. 浅海海域海洋牧场人工鱼礁区地质调查方法综述[J]. 中国水产, 2020(4): 45–47.
- [4] 许妍, 鲍晨光, 梁斌, 等. 天津市近海海域人工鱼礁选址适宜性评价[J]. 海洋环境科学, 2016, 35(6): 846–852.
- [5] 冯英明, 许丙彩, 郝义, 等. 日照市海洋牧场示范区人工鱼礁选址适宜性分析[J]. 山东国土资源, 2020, 36(1): 44–50.
- [6] 于沛民, 张秀梅. 日本美国人工鱼礁建设对我国的启示[J]. 渔业现代化, 2006(2): 6–7.
- [7] 刘敏, 董鹏, 刘汉超. 美国德克萨斯州人工鱼礁建设及对我国的启示[J]. 海洋开发与管理, 2017, 34(4): 21–25.
- [8] 李忠义, 林群, 李娇, 等. 中国海洋牧场研究现状与发展[J]. 水产学报, 2019, 43(9): 1–9.

- [9] 贾后磊,谢健,彭昆仑.人工鱼礁选址合理性分析[J].海洋开发与管理,2009,26(4):72-75.
- [10] 许强,刘舜斌,许敏,等.海洋牧场建设选址的初步研究:以舟山为例[J].渔业现代化,2011,38(2):27-31.
- [11] 伍家祺,王利伟,陈柳云.海洋牧场建设类型比较及发展对策研究:以广东、辽宁、山东为例[J].河北渔业,2024(2):42-46.
- [12] 王建,张军强,任寒寒,等.莱州湾南部沿海地区环境地质现状及成因研究[J].海洋科学进展,2020,38(2):336-347.
- [13] 宋晓帅,王松涛,吴振,等.莱州湾海岸带工程地质分区及其特征[J].海洋地质前沿,2017,33(1):43-52.
- [14] 张子牛,王珍岩,李桂花,等.基于层次分析法的人工鱼礁选址适宜性评价方法[J].海洋与湖沼,2023,54(5):1308-1321.
- [15] 崔晨,张云岭,张秀文,等.唐山祥云湾海洋牧场渔业资源增殖效果评估[J].河北渔业,2021(1):25-31.
- [16] 张健,李佳芮.我国人工鱼礁建设概况、问题及建设途径[J].河北渔业,2014(3):59-61.
- [17] 马丽,梁振林.我国人工鱼礁建设实施过程管理的思考与建议[J].河北渔业,2010(7):47-52.
- [18] 耿文倩,王庆,战超,等.海洋牧场选址适宜性评估:以烟台北部海域为例[J].海洋环境科学,2023,42(2):302-308.
- [19] 李文涛,张秀梅.关于人工鱼礁选址选择的探讨[J].现代渔业信息,2003,18(5):3-6.
- [20] 谢笑艳,陈丕茂,佟飞,等.珠海外伶仃岛海域海洋牧场选址探讨[J].南方水产科学,2022,18(5):18-29.
- [21] 单晨枫,刘敏,马成龙,等.基于 MCDM 的大长山岛海域增殖型海洋牧场人工鱼礁选址适宜性评价[J].安徽农学通报,2022,28(7):88-93.
- [22] 刘崇焕,刘永虎.关于海洋地质调查技术在海洋牧场人工鱼礁选址中应用的初步研究[J].中国水产,2020(9):53-56.
- [23] 罗文强,赵刚,张彦彦,等.海州湾海洋牧场人工鱼礁区建设前后海洋环境变化分析[J].海洋湖沼通报,2021:33-40.
- [24] 王飞,张硕,丁天明.舟山西城人工鱼礁选址基于 AHP 的权重因子评价[J].海洋学研究,2008,26(1):65-71.
- [25] 于广成,张杰东,王波.我国人工鱼礁开发建设的现状与前景[J].渔业现代化,2005(6):6-7.
- [26] 许妍,鲍晨光,梁斌,等.天津市近海海域人工鱼礁选址适宜性评价[J].海洋环境科学,2016,35(6):846-852.
- [27] 董天威,黄六一,唐衍力,等.日照前三岛人工鱼礁对渔业资源影响的初步评价[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2015,45(8):38-45.

Suitability of Marine Ranching Site Selection in the Northern Sea Areas of Weifang City in Shandong Province

SONG Wei^{1,2,3}, WU Zhen^{1,2,3}, DU Zhenming¹, LIU Rongbo^{1,2,3}, ZHU Zihui^{1,2,3}, ZHAO Jinming¹, CHENG Shixiu^{1,2,3}
(1. No. 4 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Weifang 261021, China; 2. Key Laboratory of Groundwater and Geological Environment Protection and Restoration in the Coastal Zone of Weifang City, Shandong Weifang 261021, China; 3. Key laboratory of Coastal Zone Geological Environment Protection of Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Shandong Weifang 261021, China)

Abstract: In order to evaluate the suitability of site selection for marine ranching in the northern sea area of Weifang city in Shandong province, support sustainable utilization of marine resources and high-quality development of marine economy in this region, based on the investigation work carried out by Shandong Geological Exploration Project, single-beam surveying, sediment and seawater sampling in the northern sea area of Weifang city have been carried out. By integrating multi-dimensional data, such as marine environment, engineering geology and social and economic factors, a multi-criteria evaluation system for the suitability of marine ranching site selection has been innovatively constructed by using "Analytic Hierarchy Process (AHP) + Decision Judgment". It is indicated that the northern sea area of Weifang city is suitable for the construction of three types of marine ranches, they are bottom-sowing type, reef-casting type and pastoral type. The suitable areas for bottom-sowing marine ranches are mainly distributed in the southern and northern parts with a cumulative area of 634.77 km², accounting for 58.79% of the total area. The suitable areas for reef-casting marine ranches are primarily located in the southern part with a cumulative area of 294.60 km², accounting for 27.29% of the total area. The suitable areas for pastoral marine ranches are mainly distributed in the southern and northern parts with a cumulative area of 534.75 km², accounting for 49.53% of the total area. The study area has significant potential for the construction of marine ranches, but site selection needs to comprehensively consider engineering geology, shipping channels, ecological red lines and marine special protection zones. This study will provide critical references for regional marine ranching construction planning, fill the gap in comprehensive evaluation of multi-type marine ranching site selection in this area, and hold significant importance for promoting the sustainable development of marine fisheries.

Key words: Marine ranching; site suitability evaluation; analytic hierarchy process; judgment method; northern sea areas of Weifang city