

基于岩石工程系统的海水养殖适宜性评价*

——以象山港为例

方欣,张亦飞,刘骏,祁琪

(国家海洋局第二海洋研究所工程海洋学重点实验室 杭州 310012)

摘要:象山港地处浙江东北部沿海,具有丰富的海洋生物资源,拥有发展海水增养殖良好的自然环境。文章根据国内外研究进展以及象山港实际情况确定渔业养殖的适宜性指标,然后利用岩石工程系统(RES)方法确定指标权重,结合 ArcGIS 软件将象山港划为 4 个区域,即极适宜养殖区域、适宜养殖区域、较适宜养殖区和不适宜养殖区域。最后对所得结果进行评价,并对未来研究提供一个初步思路。

关键词:象山港;指标;岩石工程系统;ArcGIS 软件;适宜性评价

中图分类号:S127;F326.4

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2015)02-0037-04

象山港地处浙江东北部沿海,是一个由东北向西南深入内陆的狭长形半封闭型海湾,具有独特的地理区位和资源优势,三面环山,岛礁众多,海域面积达 391.76 km²,滩涂面积约 100 km²,海岸线长达 270 km,拥有丰富的海洋生物资源,饵料充足,是多种鱼、虾、贝、藻等海洋生物栖息、生长、繁殖的优良场所,拥有发展海水增养殖良好的自然环境^[1-3],因此海洋渔业早已成为沿港城镇居民的主要经济支柱。但其水动力条件较弱,环境容量有限,同时象山港周边人类活动频繁,工业、城镇用海项目众多,如何在如此复杂的海洋环境条件下,选择增养殖的适宜区域是实现渔业可持续发展的必要环节,是解决海岸带空间资源争夺的有效方法,同时也是确保高效率养殖的合理途径^[4]。

地理信息系统(geographic information system 或 geo-information system, GIS)有时又称为“地学信息系统”是一种高效的时空分析工具,于 20 世纪 80 年代末应用于海洋渔业领域,并在水产养殖选址等方面具有如下两个作用:可以共同管理利用数据(例如,环境以及捕捞和养殖的物种)和促进跨领域的理解与合作^[5-6]。1989 年, Hudson^[7]提出了岩石工程系统(RES)方法,又称作相互作用矩阵,该方法不仅考虑了系统中每

个参数对整个系统的影响,而且还考虑了参数之间的相互作用对整个系统的贡献,这种方法特别适合于解决多种因素之间的相互作用和相互耦合等复杂问题。之后,他又和 Mazzoccola 等^[8]发展了这一方法及有关评价指标,使其更加适用于软科学方面的应用。

本研究根据 ArcGIS 软件将象山港海域进行了 1 km×1 km 网格划分,利用相互作用矩阵确定各指标权重,然后对每个网格进行指标赋值,最终将整个象山港海域划分为 4 个区域,即:极适宜养殖区域、适宜养殖区域、较适宜养殖区域和不适宜养殖区域,同时对试验所得结果进行分析评价。

1 指标的选取

Vincenzi 等^[9]在选择蛤仔养殖区域时,选择溶解氧含量、盐度、叶绿素 a 浓度以及含沙量作为其确定环境优劣的指标;Joaquin Buitrago 等^[10]在为牡蛎选址时,选择内在环境状况(主要包括水温、悬浮物和浊度、盐度、初级生产力等)、外在环境状况(主要包括捕食者、赤潮、水流流速、污水污染、工业排放等)、交通便利状况(主要包括地点可达度、服务可得度、设施安全度、空间与资源容纳度、使用冲突度等)以及社会经济状况(主

* 基金项目:海洋公益性行业科研专项“东海沿岸狭长型海湾综合整治集成技术及示范应用研究”(201105009)。

要包括社区组织、经济水平、渔业传统等)四大指标;Peter C. Longdill 等^[11]在论文中,选择水温、溶解氧含量、盐度、叶绿素 a 浓度、水流流速以及含沙量等因素作为确定可持续养殖区域的评判标准;Yoonsik Cho 等^[12]在论文中,选择水温、叶绿素 a 浓度、悬浮沉积物、盐度、溶解氧含量以及水深等因素来确定牡蛎的最佳养殖区域。

经过调查,象山港主要经济鱼类有大小黄鱼、带鱼、鲳鱼、鳓鱼、马鲛鱼、鳗鱼等以及一些贝壳类的海洋生物。这些生物最适宜生长环境为水温 22℃~26℃、盐度 1.8~2.5、溶氧 5 mg/L 以上、pH 8.0。因此本研究在遵循选取指标的科学性、系统性、综合性、层次性、区域性、动态性基本原则^[13],结合国内外最新研究成果,并考虑到象山港实际用海情况,选择海水水温(water temperatures)、海水盐度(concentration of salinity)、溶解氧含量(concentration of dissolved oxygen)、叶绿素 a 浓度(concentration of chlorophyll a)、水流流速(current speeds)、含沙量(sediment type)以及石油类含量(concentration of oil)等 7 个影响因子。

2 指标权重的确定

2.1 岩石工程系统的原理

通过对象山港海湾渔业养殖进行较为详细的考察,结合专家意见可以定性地确定出有可能破坏渔业养殖适宜性的主要影响因素,这里将其称为养殖适宜性影响因子。使用相互作用矩阵,又称岩石工程系统(RES)方法,将所有养殖适宜性影响因子作为评价指标,可以组成一个多因素相互作用关系矩阵,来定量评价象山港渔业养殖的适宜程度。

关系矩阵的组成原则是:将养殖适宜性影响因子依次放置在该矩阵的主对角线上(可以相互置换之间的前后顺序),每个影响因子的值表示由于该影响因子的作用而导致渔业养殖适宜性减弱或增强的具体影响程度;某个影响因子与其他影响因子的作用放置在该因子所在行中主对角线以外的其他位置,其值表示由于该影响因子与其他影响因子之间的相互作用而导致渔业养殖适宜性减弱或增强的具体影响程度。具体矩阵的组成为

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \cdots & \cdots & V_{1j} & \cdots & V_{1m} \\ V_{21} & V_{22} & \cdots & \cdots & V_{2j} & \cdots & V_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ V_{i1} & V_{i2} & \cdots & V_{ij} & \cdots & \cdots & V_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & V_{ji} & V_{jj} & \cdots & \cdots \\ V_{m1} & V_{m2} & \cdots & V_{mi} & V_{mj} & \cdots & V_{mm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: V_{ii} 表示第 i 个养殖适宜性影响因子; V_{ij} 表示养殖适宜性影响因子 i 作用于影响因子 j 而对整个养殖适宜性所产生的影响, V_{ji} 表示养殖适宜性影响因子 j 受到影响因子 i 的作用而对整个养殖适宜性所产生的影响。

确定了养殖适宜性影响因子并且组成相互作用关系矩阵以后,可以根据式(2)至式(4)计算出影响某个养殖适宜性的第 i 个影响因子的权重 k_i ,即

$$k_i = \frac{S_R(i) + S_C(i)}{2 \sum_{i=1, j=1}^m V_{ij}} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

其中:

$$S_R(i) = \sum_{i=1}^m V_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$S_C(i) = \sum_{j=1}^m V_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

式中: m 表示影响象山港渔业养殖适宜性的主要影响因子个数; $S_R(i)$ 和 $S_C(i)$ 分别表示多因素相互作用关系矩阵中每行和每列元素之和。每行的总和表示位于该行主对角线上的影响因子的作用以及该因子作用于其他影响因子而对整个养殖适宜性所产生的影响;每列的总和表示位于该列主对角线上的影响因子的作用以及该因子受到其他影响因子的作用而对整个养殖适宜性所产生的影响。

2.2 指标权重的确定

现在可以按照上述方法,将海水水温、海水盐度、溶解氧含量、叶绿素 a 浓度、水流流速、含沙量以及石油类含量这 7 个影响因子组成如下多因素相互作用关系矩阵。以对每个相互作用按照如下方案设定一个数值:0 为无相互作用;1 为弱相互作用;2 为中等相互作用;3 为强相互作用;4 为临界相互作用。

关系矩阵中养殖适宜性影响因子的作用以

及各因子之间的相互作用对象山港渔业养殖适宜性影响程度的取值如表 1 所示。这样,即可得

到象山港渔业养殖适宜性评价多因素相互作用关系矩阵 V 。

表 1 影响因子及其相互作用对象山港渔业养殖适宜性影响程度的取值

海水水温 1	1	1	2	0	0	2
0	海水盐度 1	1	2	0	0	0
0	0	含沙量 2	0	0	2	0
0	0	0	溶解氧含量 3	0	0	2
0	0	0	1	石油类含量 2	0	2
1	2	2	2	2	水流流速 2	2
0	0	0	1	0	0	叶绿素 a 浓度 3

根据式(2)至式(4);可以计算得到这 7 个影响因子的权重 k , 各因子的权重及排序如表 2 所示。

同时为了确定这 7 个影响因子的从属关系,需要做如下工作:对于每一个主因素,产生它的“因—果”坐标(C, E),这个坐标通过每个主因素的行列值之和求得,其中 C 为行值之和, E 为列值之和,然后可构造相互作用系统内的每个主因素的相互作用强度 $C+E$ 和支配优势 $C-E$,并把这些参数通过 $C-E$ 空间描绘出来,最终可以判断哪些参数是相互作用最强的,哪些是具有支配性质的,哪些是从属性质的,具体情况见表 3。

$$V = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 2 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix}$$

表 2 象山港渔业养殖适宜性影响因子的权重

渔业养殖适宜性影响因子	权重	权重排序
海水水温	0.107	5
海水盐度	0.095	7
含沙量	0.119	4
溶解氧含量	0.191	2
石油类含量	0.107	5
水流流速	0.202	1
叶绿素 a 浓度	0.179	3

通过定量计算所得到的各影响因子对养殖适宜性的影响程度(权重)与定性分析结果是完全一致的。最强的相互作用是那些具有最高 $C+$

E 值的参数。由表 3 可以看出,这 3 个最强相互作用的参数是:溶解氧含量、叶绿素 a 浓度和水流流速。

支配性质的参数是具有正的 $C-E$ 值的参数,因为它们的 C 值大于 E 值,也即它们对系统的影响要大于系统对它们的影响。由表 3 可以看出,最具支配属性的参数是:水流流速、海水水温和石油类含量。

从属性质的参数是具有负的 $C-E$ 值的参数,它们受系统的制约要大于系统受它们的影响。由表 3 可以看出,最具从属属性的参数是:含沙量、溶解氧含量和叶绿素 a 浓度。

表 3 C 和 E 与象山港渔业养殖适宜性的关系参数

C, E 关系	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
C	7	4	4	5	5	13	4
E	2	4	6	11	4	4	11
$C+E$	9	8	10	16	9	17	15
$C-E$	5	0	-2	-6	1	9	-7

3 ArcGIS 的实现

3.1 数据来源

数据主要包括象山港生态修复数据^[3]、2011 年海洋功能区划图(1:20 万)以及国家海洋公益性行业科研专项项目“东海狭长型海湾综合整治集成技术及示范应用研究”中的部分水质数据。

3.2 评价指标量化

对收集的数据根据站位的 7 项因素赋值,然后利用 ArcGIS 软件中的克里格插值,分布到整个象山港区域,最后将这些数值从小到大排序,

并分为3类。

3.3 GIS转化与结果

利用 ArcGIS 中的渔网 (fishnet) 功能, 将象山港区域划分为若干个 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 网格, 然后将每个网格不同因素所赋之值与该因素的权重相乘, 便可得到如图 1 的结果。

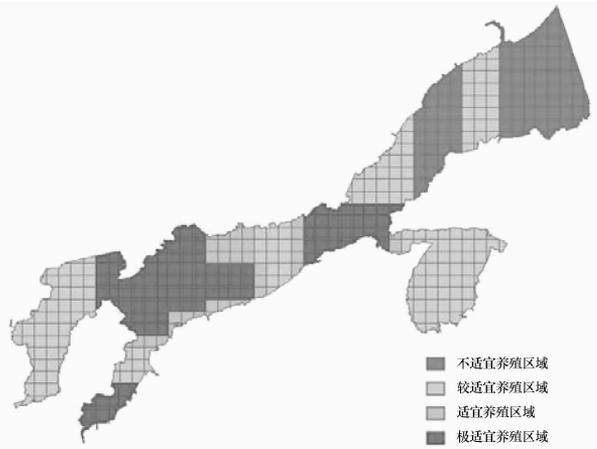


图 1 渔业养殖适宜性 GIS

在图 1 中我们可以看出, 在象山港底强蛟港、狮子口至凤凰山附近属于极适宜养殖区域, 而这也与 2011—2020 年海洋区划图较符合。在象山港口门处, 水流速度较大、水温较低、溶解氧与叶绿素 a 含量等都较低, 比较不适合在该区域进行大规模养殖。

4 结论与展望

本研究根据岩石工程系统 (RES) 方法确定象山港海湾渔业养殖适宜性评价指标的权重, 具有一定的创新性、合理性和科学性, 为以后类似的研究起到了铺垫作用; 同时 ArcGIS 软件在海洋渔业养殖选址方面也拥有良好的操作性, 所得到的结论也与实际情况较为符合, 可以为以后的海洋功能区划提供一定的借鉴意义。但由于影响因素选取较少、水质站位的缺少以及选取网格区域较大等原因导致结果不完善, 而这也是以后研究的重点。

参考文献

- [1] 唐峰华, 李磊, 廖勇, 等. 象山港海洋牧场示范区渔业资源的时空分布[J]. 浙江大学学报: 理学版, 2012, 39(6): 696—702.
- [2] 冯辉强. 象山港生态环境修复治理探讨[J]. 海洋开发与管理, 2010, 27(9): 54—57.
- [3] 尤仲杰, 焦海峰. 象山港生态环境保护与修复技术研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2011.
- [4] RADIARTA I N, SAITOH S, MIYAZONO A. GIS-based multi-criteria evaluation models for identifying suitable sites for Japanese scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) aquaculture in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan[J]. Aquaculture, 2008, 284: 127—135.
- [5] 龚彩霞, 陈新军, 高峰, 等. 地理信息系统在海洋渔业中的应用现状及前景分析[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(6): 902—909.
- [6] 吕雄杰, 贾宝红, 欧阳海鹰, 等. 基于 GIS 的天津市武清区淡水养殖适宜性评价研究[J]. 天津农业科学, 2013, 19(9): 15—19.
- [7] HUDSON J A. Rock mechanics principle in engineering practice[R]. CIRIA Ground Engineering Report: Underground Construction, 1989.
- [8] MAZZOCOLA D F, HUDSON J A. A comprehensive method of rock mass characterization for indicating natural slope instability[J]. Quarterly Journal of Engineering Geology, 1996, 29: 37—56.
- [9] VINCENZI S, CARAMORI G, ROSSI R. A GIS-based habitat suitability model for commercial yield estimation of *Tapes philippinarum* in a Mediterranean coastal lagoon (Sacca di Goro, Italy)[J]. Ecological Modelling, 2006, 193: 90—104.
- [10] BUITRAGO J, RADA M, HERNANDEZ H. A Single-use site selection technique, using GIS, for aquaculture planning: choosing locations for mangrove oyster raft culture in margarita island, venezuela[J]. Environmental Management, 2005, 35(5): 544—556.
- [11] LONGDILL P C, HEALY T R, BLACK K P. An integrated GIS approach for sustainable aquaculture management area site selection[J]. Ocean & Coastal Management, 2008, 51: 612—624.
- [12] CHO Y, LEE W C, HONG S, et al. GIS-based suitable site selection using habitat suitability index for oyster farms in Geoje-Hansan Bay, Korea[J]. Ocean & Coastal Management, 2012, 56: 10—16.
- [13] 陆建芬. 资源环境承载力评价研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.