

基于DEMATEL-ISM-MICMAC法中国远洋鱿钓渔业脆弱性指标选择与分析

张雨晴, 陈新军

Selection and analysis of vulnerability indexes of China's pelagic squid jigging fishery based on DEMATEL-ISM-MICMAC method

ZHANG Yuqing, CHEN Xinjun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210403384>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[主要经济大洋性鱿鱼资源渔场生产性调查与渔业概况](#)

Productive survey and fishery for major pelagic economic squid in the world

上海海洋大学学报. 2019, 28(3): 344 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181202467>

[过洋性渔业入渔风险评价指标体系构建](#)

Indicator system construction of distant water fisheries risk assessment

上海海洋大学学报. 2020, 29(3): 401 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190402617>

[世界头足类资源开发现状及我国远洋鱿钓渔业发展对策](#)

Development status of world cephalopod fisheries and suggestions for squid jigging fishery in China

上海海洋大学学报. 2019, 28(3): 321 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181102445>

[世界大洋性鱿钓渔业研究评述](#)

Bibliometrics research of document on the theme of oceanic squid jigging fishery in the world

上海海洋大学学报. 2019, 28(3): 331 <https://doi.org/10.12024/jsou.20181202481>

[不同捕捞方式下印度洋北部鳶乌贼渔场时空分布差异](#)

Spatial and temporal distribution of fishing ground of *Sthenoteuthis oualaniensis* in northern Indian Ocean with different fishing methods

上海海洋大学学报. 2021, 30(6): 1079 <https://doi.org/10.12024/jsou.20210103264>

文章编号: 1674-5566(2022)02-0479-12

DOI:10.12024/jsou.20210403384

基于 DEMATEL-ISM-MICMAC 法中国远洋鱿钓渔业脆弱性指标选择与分析

张雨晴¹, 陈新军^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306; 3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306)

摘要: 结合脆弱性理论, 从气候与环境、物种、社会经济等 3 方面建立我国远洋鱿钓渔业社会-生态系统脆弱性指标体系, 并运用 DEMATEL-ISM-MICMAC(决策试验与评价实验室-解释结构模型-交叉影响矩阵相乘法)对指标之间关系及指标体系的结构进行分析。研究表明: 我国远洋鱿钓渔业脆弱性指标之间相互联系, 其中最为重要的是渔业资源、捕捞强度、科技投入和政策与管理; 所有指标根据作用可分为关联因素、调整因子、驱动因素、依赖因素和自主因素等 5 类, 较关键的是前 3 类因素; 除渔业资源外, 脆弱性指标体系可分为本质致因 I4、深层致因 I3、过渡致因 I2 和近邻致因 I1 等 4 个层级, 长期监控 I3 和 I4 层指标, 重视 I2 和 I3 层的指标, 有针对性地调整 I1 层指标, 是保持我国远洋鱿钓渔业长期健康发展的有效路径。该研究不仅能识别影响我国远洋鱿钓渔业脆弱性的关键因素, 同时可为远洋鱿钓渔业的科学管理提供理论指导, 并为脆弱性实证评估奠定基础。

关键词: 远洋鱿钓渔业; 脆弱性; 指标; DEMATEL; ISM; MICMAC

中图分类号: S 931.4 **文献标志码:** A

远洋鱿钓渔业是我国大洋性渔业的支柱产业, 是以大洋性柔鱼类为主要钓捕对象的一种渔业, 主要作业区域分布在 3 大洋 4 大海域^[1]。对我国远洋鱿钓渔业进行脆弱性分析是确保其资源可持续利用及经济可持续发展的重要手段之一。脆弱性评价起初广泛用于自然灾害、资源与生态学等方面, 后来拓展到更宽泛的领域, 用于对受多因素影响的各种系统进行状态和风险的评估, 在应对全球变化和实现可持续发展方面具有重要作用。随着国家对渔业可持续发展认识的逐步提升, 我国开始注重对渔业脆弱性方面的研究。构建脆弱性指标体系是进行脆弱性评价的前提, 而分析脆弱性指标因素是寻求降低脆弱性的有效途径。

脆弱性发展到至今, 已经囊括了环境、资源、社会、经济、管理等方面的内容, 这也意味着我国

远洋鱿钓渔业脆弱性指标体系必然具有复杂性。系统因素之间存在的各种线性和非线性交互关系导致了系统的复杂性和内部结构的无序性。为了对系统有更加清楚的认知以进行更好的研究, 首先要理清众多错综复杂因素之间的关系和层次。决策试验与评价实验室法 (decision-making trial and evaluation laboratory, DEMATEL) 可分析系统因素的重要性及相互之间的影响程度, 并得出因果关系^[2]; 解释结构模型法 (interpretive structure modeling, ISM) 可将系统因素分级, 揭示系统内部结构^[3]; 交叉影响矩阵相乘法 (matrixed impacts corises-multiplication appliance classement, MICMAC) 可分析因素依赖-驱动关系^[4]。它们都是对复杂系统进行分析 and 决策的方法, 既可以单独使用, 也经常与其他方法结合。渔业领域对脆弱性的研究才刚刚起步,

收稿日期: 2021-04-09 修回日期: 2021-06-04

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD0901404); 国家自然科学基金面上项目(41876141); 上海市科技创新行动计划(10DZ1207500)

作者简介: 张雨晴(1996—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源经济学。E-mail: zyqing27@163.com

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

只有寥寥几篇脆弱性评价的文章,其中高原等^[5]、李博等^[6]、陈琦等^[7]在对渔业进行脆弱性评价之后,仅运用障碍度模型简单分析了脆弱性影响因素的重要性。只有陈琦等^[8]在2019年运用ISM法对我国海洋渔业脆弱性影响因素进行了系统分析。我国远洋鱿钓渔业关于脆弱性的研究目前尚为空白。为此,本文首次建立我国远洋鱿钓渔业脆弱性指标体系,采用DEMATEL-ISM-MICMAC法(DEMATEL、ISM、MICMAC法的有机结合,ISM的运行是基于DEMATEL的一个结果,而MICMAC的操作是基于ISM的运行),辅以Matlab、Excel等工具,分析我国远洋鱿钓渔业脆弱性指标体系层次结构,理清因素之间的关系及其在系统中的作用,为我国远洋鱿钓渔业进行科学管理和脆弱性评价奠定基础。

1 材料与方法

1.1 研究对象及远洋鱿钓渔业脆弱性指标因素

本文围绕我国远洋鱿钓渔业的3个主要种类——西北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)、东南太平洋茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)和西南大西洋阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*)进行研究,在综合考虑了其共性的基础上,构建了一套共用的脆弱性指标体系,并对指标展开进一步的分析。通过阅读脆弱性、渔业、远洋鱿钓渔业等相关文献和询问专家意见,并考虑脆弱性评估所需数据的可得性,确定了中国远洋鱿钓渔业脆弱性的影响指标,分为3类19个指标(见表1)。

海表面温度(sea surface temperature, SST)通常被视为影响渔场分布的首要关键因素,即使较小温度升高也会对海洋鱼类的生理、分布、生命周期事件和生物多样性产生直接的影响^[9];叶绿素a质量浓度与浮游植物生物量往往存在相同分布趋势,通常与中心渔场具有较好对应关系,而

且与海洋环境和初级生产力关系密切,是影响鱿鱼资源分布和变动的主要环境因素^[10-11];海面高度能够反映锋面、海流等海洋动力环境变化,对渔业资源的空间分布产生重要影响^[12];海流作为一种海洋交换机制,向海洋输送热量和养分,并影响上升流、浮游热点和大规模水交换机制的位置和强度,其速度和流向的相对变化会影响养分和幼体的运输^[13-14];净初级生产力(net primary productivity, NPP)是海洋基础食物链营养的重要表征,影响着海洋浮游动植物的生长分布,决定着渔业的潜在产量,也在一定程度上反映鱼类的潜在分布^[15-16]。

渔业资源是渔业发展的根本,通常用产量的波动或资源丰度变动表示渔业资源情况,资源充足是保持渔业及其经济可持续性的基础;鱼类生长发育时期的变化是物种对外界环境的适应性变化,会影响物种自身的大小和分布等,使渔汛发生变化,影响渔获量和限定捕捞规格;渔获物大小组成影响渔业的经济效益和合理捕捞强度制定;种群生殖能力代表着潜在的资源补充能力,对资源量和物种保存都具有极为重要的影响。

捕捞强度一方面会对渔业资源和物种生长等产生影响,另一方面也直接与社会经济效益相关联;对渔业资源的食物、就业和经济依赖性代表着发展该渔业的必要性,依赖性越高,对外界变化越敏感;渔民总数和渔业作为职业的重要性反映了主要从业者情况;经济规模和生产效率^[17]代表着渔业经济的发展水平;科技投入关乎人们对渔业系统的判断力及政策导向,也影响技术装备的先进性和产业发展能力;政策与管理对渔业的发展起宏观调控作用,决定了未来的走向和可持续性。

表1 我国远洋鱿钓渔业脆弱性指标因素

Tab.1 Vulnerability index factors of pelagic squid jigging fishery in China

分类 Classification	影响因素 Influencing factor
气候与环境方面 Climate and environment	海表面温度 f_1 、叶绿素a质量浓度 f_2 、海面高度 f_3 、海流 f_4 、净初级生产力 f_5
物种方面 Species	渔业资源 f_7 、生长发育时期变化 f_8 、渔获物大小组成 f_9 、种群生殖能力 f_{10}
社会和经济方面 Social and economic	捕捞强度 f_6 、对渔业资源的食物依赖 f_{11} 、对渔业资源的就业依赖 f_{12} 、对渔业资源的经济依赖 f_{13} 、渔民总数 f_{14} 、渔业作为职业的重要性 f_{15} 、经济规模 f_{16} 、生产效率 f_{17} 、科技投入 f_{18} 、政策与管理 f_{19}

1.2 研究方法

DEMATEL 法是在专家认知基础上对系统中不确定关系的各因素进行分析的一种方法论,主要是关于因素之间关系及影响大小的评价^[18]。该方法的优点是能够充分利用和综合专家的知识与经验来处理复杂的系统问题,并用具体数值表示系统中各因素之间的关系。ISM 法是现代系统工程中广泛应用的一种结构模型化技术,旨在把复杂系统分解成不同的层次,简化系统^[19],以

此来揭示系统的内部结构关系。可将错综复杂的因素层次化和条理化,解释因素间层次结构的影响路径与关联关系^[20]。MICMAC 可以分析因素在系统中所处的地位和作用,评估因素的依赖度和驱动度^[21-22]。本文将 DEMATEL、ISM、MICMAC 等 3 种方法有机结合,形成 DEMATEL-ISM-MICMAC 法,以此来研究指标体系结构和指标因素之间的关联,见图 1。

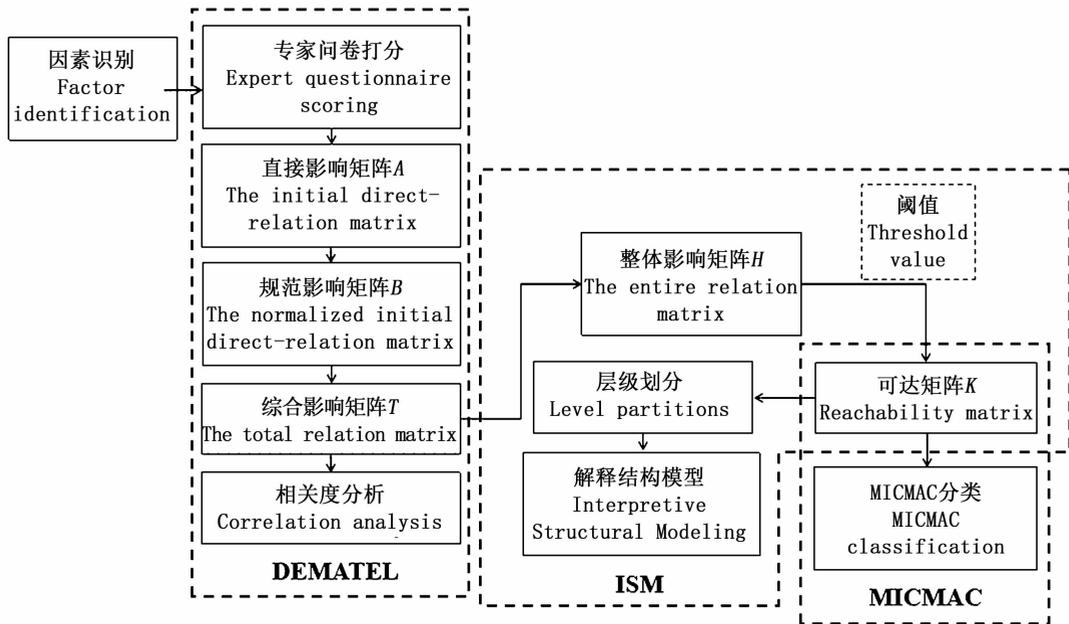


图 1 技术路线图

Fig.1 Method flowchart

1.2.1 脆弱性影响因素之间的关系分析——DEMATEL

对渔业领域的 15 个专家进行结构式问卷调查,具体研究方向涉及渔业海洋学、捕捞学、渔业生物学、渔业资源与经济学和渔业管理学。专家基于经验和专业认知对上述 19 个指标进行两两影响关系的双向打分,共分为 4 个量度,打分标准:0(无影响),1(影响较弱),2(影响中等),3(影响较强)。为了防止专家给分的主观松紧程度抵消影响的差异性,选取了给分相对紧的 9 份问卷进行研究。为消除个体差异,对其打分求平均值并四舍五入,得到直接影响矩阵 A(A 为 19 阶方阵,构成元素 a_{ij} 表示 i 因素对 j 因素的影响,矩阵对角线 a_{ii} 表示因素对自身的影响,全部取 0。 $i, j = 1, 2, \dots, 19$ 且 $i \neq j$)。

矩阵归一化是通过对矩阵的每个元素进行相应的函数运算实现区间缩放,以保证运算后的值为 0 ~ 1,消除量纲作用。一般处理方式有:列和最大值法、行和最大值法、列和与行和最大值法以及最大值取弦法等^[23],选用行和最大值法,对 A 进行归一化处理得到规范影响矩阵 B[公式(1)]。综合影响矩阵 T 表示一个因素对另一个因素产生的直接影响和间接影响(即综合影响)程度[公式(2)]。综合影响矩阵只考虑不同因素之间的关系,并未考虑因素对自身的影响,因此构建整体影响矩阵 H 来弥补这个问题[公式(3)]。

$$B = \frac{1}{\max(\sum_{j=1}^{19} a_{ij})} A, i = 1, 2, \dots, 19 \quad (1)$$

$$T = B + B^2 + \dots = B(I - B)^{-1} \quad (2)$$

$$H = I + T \tag{3}$$

式中： B 为规范影响矩阵； T 为综合影响矩阵； H 为整体影响矩阵； I 为对应阶单位矩阵； a_{ij} 为 A 矩阵的元素。

影响度 m_i 是综合影响矩阵 T 中的行和，表示某因素对其他各因素的综合影响值，包括直接和间接影响[公式(4)]。被影响度 n_j 是 T 中的列和，是某因素所受其他因素综合影响的值[公式(5)]。中心度 p_i 表示某因素在系统中的重要性，是该因素影响其他因素和受其他因素影响的总程度，中心度越大，代表系统中该因素越重要[公式(6)]。原因度 q_i 表示某因素对其他各因素产生的净影响，即产生的影响和受到的影响的抵消值，是通过两者相减得到[公式(7)]。

$$m_i = \sum_{j=1}^{19} t_{ij}, i = 1, 2, \dots, 19 \tag{4}$$

$$n_j = \sum_{i=1}^{19} t_{ij}, j = 1, 2, \dots, 19 \tag{5}$$

$$p_i = m_i + n_j (i = j) \tag{6}$$

$$q_i = m_i - n_j (i = j) \tag{7}$$

式中： m_i 表示影响度； n_j 表示被影响度； p_i 表示中心度； q_i 表示原因度。

1.2.2 脆弱性系统解释结构模型构建——ISM

可达矩阵 K 是用矩阵形式描述从一个因素到另一个因素是否存在连接路径。基于 DEMATEL 法的 ISM 可以根据 H 来计算 K [公式(8)]^[24]。

因素较多的系统需要通过设置阈值 λ 来剔除一些影响程度偏小的关系，以此简化系统层次，便于结构划分。 λ 的大小会直接对 K 和系统层次产生影响。在一定的范围内， λ 的大小对系统层次的影响是复杂而不确定的，需要反复尝试取得合适的 λ 值。但超出范围的 λ 必定会导致系统层次结构过于简单，无法清楚表达因素之间的影响关系。 λ 可通过数学方法计算($\lambda = \alpha + \beta$ ，其中 α, β 为矩阵 T 中元素的均值和标准差)^[25]或通过决策者和专家视具体的实际情况来定 λ 的值^[26]。经过几十次取值模拟，同时根据具体的实际情况，考虑层次复杂度适中性和层次因素合理性，最终选定 $\lambda = 0.255$ 。

$$k_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{当 } h_{ij} < \lambda \text{ 时} \\ 1, & \text{当 } h_{ij} \geq \lambda \text{ 时} \end{cases}, i, j = 1, 2, \dots, 19 \tag{8}$$

式中： k_{ij} 是可达矩阵 K 的构成元素； h_{ij} 为整体影响矩阵 H 的构成元素； λ 为阈值。

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}	f_{15}	f_{16}	f_{17}	f_{18}	f_{19}
f_1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f_2	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f_3	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f_4	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f_5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f_6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
f_7	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1
f_8	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f_9	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f_{10}	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f_{11}	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
f_{12}	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1
f_{13}	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1
f_{14}	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1
f_{15}	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
f_{16}	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
f_{17}	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1
f_{18}	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
f_{19}	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1

根据 K 确定系统骨架图需要对因素进行分层。采取抽取顶层变量的方法分解矩阵 K 。定义: $R(f_i)$ 为可达集合, 即 K 中因素 f_i 对应的行中, 矩阵元素为 1 的所有列数构成的集合; $Q(f_i)$ 为先行集合, 它是 f_i 对应的列中, 矩阵元素为 1 的所有行数构成的集合。当且仅当 $R(f_i) \cap Q(f_i)$ 时, $R(f_i)$ 中的所有元素对应的影响因素为顶层元素, 然后剔除顶层元素, 继续此步骤直到最底层。

由于渔业资源(f_7)整体影响较强, 为了更好

地划分层级结构, 把此因素单列出。如表 2 所示, $f_4, f_{10}, f_{12}, f_{13}$ 对应的 $R(f_i)$ 满足条件 $R(f_i) \cap Q(f_i)$, 它们中的所有元素为 3, 9, 11, 12, 13, 14, 16, 19, 故这些元素对应的影响因素 $f_3, f_9, f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{14}, f_{16}, f_{19}$ 为最顶层元素 L1。接着剔除掉表中所有的 3, 9, 11, 12, 13, 14, 16, 19, 重复上述操作, 可得 L2 因素为 f_8, f_{10}, f_{15} 。同理可得, L3 影响因素为 f_2, f_6, f_{17}, f_{18} , 底层 L4 影响因素为 f_1, f_4, f_5 。

表 2 可达集合与先行集合

Tab. 2 Reachability set and antecedent set

因素 Factors	$R(f_i)$ 的构成元素 Constituent elements of $R(f_i)$	$Q(f_i)$ 的构成元素 Constituent elements of $Q(f_i)$
f_1	1, 6, 8, 9, 10	1
f_2	2, 8, 9, 10	2
f_3	3	3
f_4	4, 6, 8, 9, 10	4
f_5	5, 6, 8, 9, 10	5
f_6	6, 8, 9, 10, 19	1, 4, 5, 6, 13, 14, 16 ~ 19
f_8	8, 9	1, 2, 4, 5, 6, 8, 19
f_9	9	1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 19
f_{10}	9, 10	1, 2, 4, 5, 6, 10, 19
f_{11}	11	11
f_{12}	12, 13, 14, 16, 19	12 ~ 16, 19
f_{13}	6, 12 ~ 17, 19	12, 13, 16 ~ 19
f_{14}	6, 12, 14, 16, 19	12 ~ 19
f_{15}	12, 14, 15, 16, 19	13, 15, 16, 18, 19
f_{16}	6, 12 ~ 19	12 ~ 19
f_{17}	6, 13, 14, 16, 17, 19	13, 16 ~ 19
f_{18}	6, 9, 13 ~ 19	16, 18, 19
f_{19}	6, 8, 9, 10, 12 ~ 19	6, 12 ~ 19

骨架图应尽量满足: 同层因素可互通可不通, 具体根据可达矩阵判断; 每层因素仅指向相邻的上层因素; 每层因素不指向下层因素。往往需要通过增设虚节点对骨架图作出适当调整。根据可达矩阵表示的指标间关系和路径, 增设虚节点 $f'_{13}, f'_{14}, f'_{16}, f'_{19}$ 来调整层次结构(虚节点为对应因素的像), 虚节点所对应的因素在系统中发挥两种作用。

1.2.3 划分因素属性——MICMAC

对 K 进行运算[公式(9)、(10)]^[27], 可将所有指标分为五个区: I(自主因素)、II(依赖因素)、III(关联因素)、IV(驱动因素)、V(调整因素)^[28]。

$$X_j = \sum_{i=1}^{19} k_{ij}, j = 1, 2, \dots, 19 \quad (9)$$

$$Y_i = \sum_{j=1}^{19} k_{ij}, i = 1, 2, \dots, 19 \quad (10)$$

式中: X_j 为依赖性; Y_i 为驱动力; k_{ij} 是可达矩阵 K

的构成元素。

2 结果

2.1 影响因素的相关性和重要性

根据公式(1)和(2)可得 T , 根据 T 和公式(4)~(7)可得表 3。表 3 所示为 DEMATEL 法得到的各指标之间的相关度值, 可分析因素之间的相关性和重要性。由图 2 可直观地看出各因素的作用和重要程度。中心度的大小代表了与其他因素的关联度和在系统中的重要程度, 中心度在表 3 排名越靠前, 表明其与脆弱性各指标联系越紧密, 相关性越强, 在图 2 中越靠右分布。

从与其他因素的相关性(表 2)来看, 从大到小依次是: 渔业资源、政策与管理、捕捞强度、经济规模、种群生殖能力、经济依赖性、生产效率、渔民总数、渔获物大小组成、就业依赖性、科技投入、生长发育时期变化、渔业作为职业的重要性、

食物依赖性、净初级生产力、叶绿素 a 质量浓度、海表面温度、海流、海面高度。

$$T = \begin{pmatrix} 0.068 & 0.218 & 0.117 & 0.099 & 0.242 & 0.258 & 0.399 & 0.319 & 0.295 & 0.313 & 0.222 & 0.194 & 0.199 & 0.200 & 0.171 & 0.214 & 0.209 & 0.159 & 0.204 \\ 0.086 & 0.096 & 0.050 & 0.049 & 0.214 & 0.222 & 0.338 & 0.263 & 0.264 & 0.268 & 0.213 & 0.167 & 0.172 & 0.169 & 0.155 & 0.174 & 0.172 & 0.140 & 0.183 \\ 0.094 & 0.146 & 0.032 & 0.092 & 0.160 & 0.176 & 0.259 & 0.190 & 0.184 & 0.186 & 0.129 & 0.126 & 0.133 & 0.128 & 0.121 & 0.140 & 0.139 & 0.114 & 0.143 \\ 0.155 & 0.194 & 0.127 & 0.049 & 0.236 & 0.282 & 0.386 & 0.300 & 0.278 & 0.296 & 0.198 & 0.190 & 0.196 & 0.189 & 0.172 & 0.204 & 0.218 & 0.155 & 0.199 \\ 0.083 & 0.175 & 0.047 & 0.051 & 0.125 & 0.270 & 0.366 & 0.278 & 0.284 & 0.284 & 0.214 & 0.175 & 0.180 & 0.186 & 0.170 & 0.190 & 0.192 & 0.151 & 0.197 \\ 0.060 & 0.136 & 0.043 & 0.046 & 0.159 & 0.231 & 0.382 & 0.284 & 0.312 & 0.300 & 0.205 & 0.228 & 0.240 & 0.243 & 0.214 & 0.247 & 0.236 & 0.209 & 0.280 \\ 0.071 & 0.147 & 0.047 & 0.054 & 0.191 & 0.338 & 0.321 & 0.288 & 0.309 & 0.325 & 0.239 & 0.279 & 0.287 & 0.280 & 0.250 & 0.287 & 0.262 & 0.228 & 0.293 \\ 0.058 & 0.099 & 0.031 & 0.042 & 0.130 & 0.209 & 0.302 & 0.153 & 0.262 & 0.249 & 0.174 & 0.139 & 0.147 & 0.136 & 0.119 & 0.140 & 0.156 & 0.132 & 0.180 \\ 0.046 & 0.101 & 0.030 & 0.037 & 0.118 & 0.216 & 0.294 & 0.213 & 0.168 & 0.238 & 0.177 & 0.169 & 0.174 & 0.152 & 0.139 & 0.163 & 0.189 & 0.149 & 0.195 \\ 0.054 & 0.112 & 0.039 & 0.050 & 0.146 & 0.246 & 0.347 & 0.254 & 0.283 & 0.196 & 0.189 & 0.203 & 0.203 & 0.194 & 0.167 & 0.209 & 0.203 & 0.175 & 0.228 \\ 0.076 & 0.116 & 0.031 & 0.049 & 0.141 & 0.235 & 0.304 & 0.240 & 0.243 & 0.243 & 0.129 & 0.169 & 0.177 & 0.176 & 0.170 & 0.188 & 0.186 & 0.167 & 0.212 \\ 0.051 & 0.092 & 0.033 & 0.034 & 0.120 & 0.248 & 0.295 & 0.194 & 0.212 & 0.225 & 0.145 & 0.184 & 0.261 & 0.261 & 0.253 & 0.256 & 0.237 & 0.199 & 0.273 \\ 0.061 & 0.104 & 0.037 & 0.037 & 0.134 & 0.294 & 0.331 & 0.228 & 0.241 & 0.242 & 0.162 & 0.285 & 0.210 & 0.289 & 0.283 & 0.284 & 0.273 & 0.239 & 0.303 \\ 0.056 & 0.100 & 0.030 & 0.030 & 0.132 & 0.270 & 0.315 & 0.196 & 0.211 & 0.228 & 0.138 & 0.267 & 0.251 & 0.195 & 0.250 & 0.262 & 0.251 & 0.211 & 0.282 \\ 0.045 & 0.093 & 0.027 & 0.028 & 0.124 & 0.251 & 0.282 & 0.168 & 0.196 & 0.194 & 0.140 & 0.268 & 0.254 & 0.278 & 0.174 & 0.257 & 0.230 & 0.204 & 0.262 \\ 0.067 & 0.119 & 0.042 & 0.039 & 0.146 & 0.294 & 0.341 & 0.217 & 0.237 & 0.250 & 0.174 & 0.275 & 0.283 & 0.291 & 0.277 & 0.216 & 0.264 & 0.261 & 0.309 \\ 0.067 & 0.096 & 0.040 & 0.037 & 0.132 & 0.277 & 0.321 & 0.213 & 0.243 & 0.244 & 0.161 & 0.238 & 0.270 & 0.264 & 0.232 & 0.269 & 0.192 & 0.227 & 0.275 \\ 0.066 & 0.105 & 0.037 & 0.034 & 0.139 & 0.300 & 0.353 & 0.220 & 0.256 & 0.241 & 0.174 & 0.252 & 0.273 & 0.276 & 0.261 & 0.280 & 0.301 & 0.180 & 0.302 \\ 0.079 & 0.130 & 0.047 & 0.041 & 0.165 & 0.337 & 0.407 & 0.274 & 0.322 & 0.315 & 0.197 & 0.307 & 0.304 & 0.322 & 0.290 & 0.319 & 0.317 & 0.293 & 0.262 \end{pmatrix}$$

表3 中国远洋鱿钓渔业脆弱性指标因素相关度值
Tab.3 Correlation value of vulnerability index factors of China's pelagic squid jigging fishery

因素 Factors	m_i	n_j	p_i	q_i	p_i 排序 Ordering of p_i
f_1	4.099	1.341	5.440	2.758	17
f_2	3.394	2.380	5.775	1.014	16
f_3	2.692	0.886	3.578	1.806	19
f_4	4.026	0.895	4.921	3.131	18
f_5	3.619	2.953	6.571	0.666	15
f_6	4.052	4.957	9.009	-0.905	3
f_7	4.494	6.341	10.835	-1.847	1
f_8	2.857	4.494	7.350	-1.637	12
f_9	2.969	4.798	7.766	-1.829	9
f_{10}	3.500	4.838	8.338	-1.339	5
f_{11}	3.253	3.381	6.634	-0.128	14
f_{12}	3.573	4.113	7.687	-0.540	10
f_{13}	4.037	4.215	8.252	-0.178	6
f_{14}	3.675	4.230	7.905	-0.554	8
f_{15}	3.475	3.868	7.342	-0.393	13
f_{16}	4.103	4.299	8.402	-0.195	4
f_{17}	3.799	4.229	8.028	-0.430	7
f_{18}	4.050	3.594	7.644	0.456	11
f_{19}	4.728	4.582	9.310	0.146	2

海表面温度(f_1)、海流(f_4)、海面高度(f_3)、渔业资源(f_7)、生长发育时期变化(f_8)、渔获物大小组成(f_9)和种群生殖能力(f_{10})的影响度与被影响度有明显差别,前三者的被影响度都很低,主要是对其他因素产生影响,后4个因素则更易被影响;其他因素影响度和被影响度相当。其中渔业资源中心度为10.835,被影响度为6.341,二

者均居第一,其影响度为4.494,居第二,是系统的核心。政策与管理影响度为4.728,是产生影响最大的因素。因素之间综合影响力较低的是叶绿素 a 质量浓度(f_2)、海表面温度(f_1)、海流(f_4)、海面高度(f_3),它们在因素间活跃度低。

从因素的作用来看:5个气候与环境因素($f_1 \sim f_5$)及科技投入(f_{18})、政策与管理的中心度大于0,表明它们产生的影响大于所受到的影响,在系统中更多地发挥诱因作用,是原因因素,其他为结果因素。表现在图2中,右上部分的因素表示强驱动型,政策与管理(f_{19})和科技投入(f_{18})属于此类因素,它们对其他因素的综合影响力较大。左上部分因素为驱动型因素,具体包括气候与环境方面的5个影响因素($f_1 \sim f_5$),虽为原因因素,但影响不是很大。

2.2 系统层级结构

根据ISM法进行层级划分,得到我国远洋鱿钓渔业脆弱性指标体系的层级结构,其中较粗的线为层间以及实点之间的影响路径,细线为层内以及虚节点形成的关系和路径。ISM将所有指标划分为4层,从下到上分别代表本质致因、深层致因、过渡致因和近邻致因,如图3所示。由此可知:

最底层(L4)因素有: f_1 、 f_4 和 f_5 。最底层的因素通过直接和间接传递作用影响其他各层的因素,是我国远洋鱿钓渔业脆弱性的本质致因,主要通过作用于上一层的捕捞强度(f_6)对整个系统产生影响。

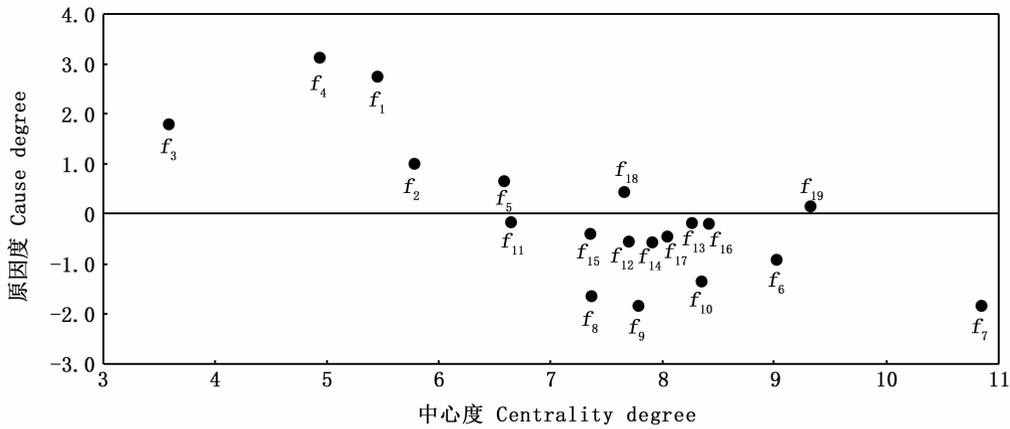


图 2 中国远洋鱿钓渔业脆弱性指标因素中心度-原因度分布

Fig. 2 Centrality-Cause degree distribution of vulnerability index factors of China's pelagic squid jigging fishery

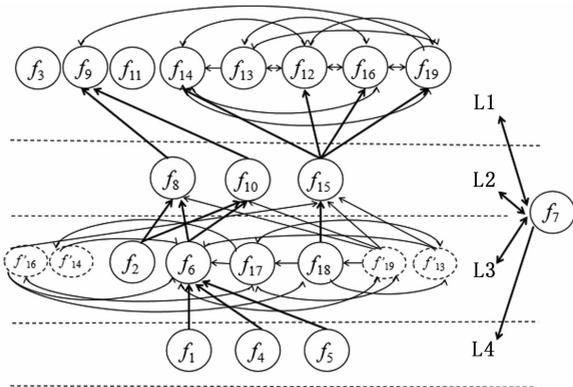


图 3 中国远洋鱿钓渔业脆弱性系统多级递阶解释结构模型

Fig. 3 Multi-level hierarchical explanatory structure model of vulnerability system for pelagic squid jigging fishery in China

L3 代表深层致因,其中叶绿素含量(f_2)和捕捞强度(f_6)链接的影响路径主要是物种方面。而经济依赖性(f_{13})、渔民总数(f_{14})、经济规模(f_{16})、生产效率(f_{17})、科技投入(f_{18})和政策与管理(f_{19})主要在社会经济指标间起作用,这些因素与捕捞强度之间关系复杂,一旦有变化易快速传递,引起一系列变化,并通过捕捞强度链接到物种,实现我国远洋鱿钓渔业脆弱性系统中社会和生态指标的耦合。

L2 为过渡致因,生长发育时期变化(f_8)、种群生殖能力(f_{10})、渔业作为职业的重要性(f_{15})受众多其他因素的影响,是深层致因作用于 L1 各因素的必要途径,是系统脆弱性不容忽视的潜在

影响因素。

顶层(L1)因素为系统脆弱性的直接诱导因素,是近邻致因。海面高度(f_3)和食物依赖性(f_{11})是相对较独立的因素,基本不受其他因素影响,渔获物大小组成(f_9)除了受物种本身指标的影响,也受制于政策与管理,但它们在脆弱性系统中的活跃度都较差。其他几个顶层因素(就业依赖性(f_{12})、经济依赖性(f_{13})、渔民总数(f_{14})、经济规模(f_{16})、政策与管理(f_{19})相互之间以及与 L2 之间联系紧密,可控性强。

2.3 依赖-驱动关系

以基于 MICMAC 得到的依赖性 X_j 和驱动力 Y_i 分别作为 x 轴和 y 轴得到图 4,可分析因素之间的依赖-驱动关系并据此分类,从图 4 可看出:

I 区是自主因素,包括叶绿素 a 质量浓度、海面高度、食物依赖性,这些因素要么相对独立,与其他因素关联度小,要么影响力不强,不易引发连锁反应; II 区是依赖因素,一般能较强地链接到其他因素,易受其他因素控制,但驱动力不强,有生长发育时期变化、渔获物大小组成和种群生殖能力,解决它们一般要先通过解决其他因素; III 区是关联因素,包括经济依赖性、经济规模、生产效率、政策与管理,同时具有高度依赖性和强大驱动力; IV 区为驱动因素,仅有科技投入,不容易被影响但驱动力强,对系统其他因素有较大的影响,一般处于 ISM 递阶结构的较低层; V 区在均值线上,为调整因子,有海表面温度、海流、净初级生产力、捕捞强度、就业依赖性、渔民总数、渔业作为职业的重要性。

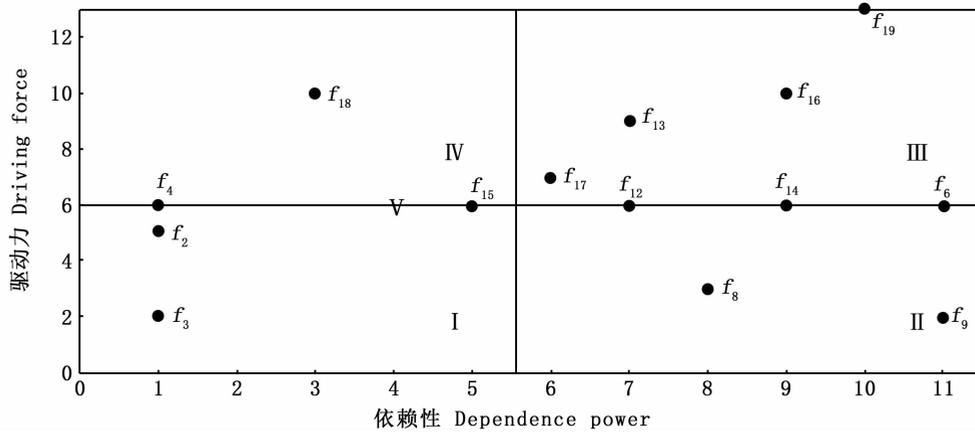


图4 中国远洋鱿钓渔业指标因素的 MICMAC 分类

Fig. 4 MICMAC classification of index factors of China's pelagic squid jigging fishery

3 讨论

3.1 研究方法分析

目前国内外文献多是单独或两两结合使用 DEMATEL^[29]、ISM^[30-31] 和 MICMAC^[32], 综合 3 种方法使用的研究较少, 国内只有宋娜等^[33] 在 2020 年将其运用于对康养旅游资源评价指标的研究, 且已有的研究仅针对每种方法各自的用途进行介绍^[34-35], 并没有关于一体式方法的机理介绍。本文首次将 DEMATEL-ISM-MICMAC 法应用于渔业领域, 并对这 3 种方法有机结合后的具体差异与相互补充进行了深入分析。

DEMATEL 法分析的因素重要性体现在与其他因素的相关度上, 是影响范围(可相互作用因素的多少)和影响强度(作用的强弱)的综合值, 对因素原因与结果属性的划分是根据其在系统中哪种作用占主导地位。基于 DEMATEL 的 ISM 法通过进一步设置阈值重新构建因素间的关系和可达性, 虽然可揭示系统的层次结构和影响路径, 但不能具体表示不同层次及各路径之间的胶着力和影响强度。DEMATEL 法的中心度—原因度分布与 MICMAC 分类都可以一定程度上表征因素的驱动和依赖性, 但两者大相径庭, 它们不是基于相同的影响矩阵, 而且分析角度和方式不同: 前者是用综合影响值(影响范围和影响强度)来表示关系强弱, 以作用方式(产生影响或被影响)抵消后的相对值表示因果关系; 后者则是在划分清楚系统层次的前提下得到的, 以 0 和 1 组成的可达矩阵忽略了系统中影响微弱的关系, 是在影响力达到一定程度的前提下, 以影响范围表

示强弱, 以作用方式累积的绝对性的值来研究其依赖-驱动作用。

因此, 3 种方法的有机结合, 既可以同时从影响力大小和关系繁杂度上分析因素之间的作用, 又可以得到层次分明的系统结构模型。

3.2 基于 DEMATEL-ISM-MICMAC 的因素之间关系分析和关键因素识别

根据国内外渔业对脆弱性指标的选择和建立以及远洋鱿钓渔业发展的实况^[36-39], 我国远洋鱿钓渔业脆弱性指标体系主要从气候与环境变化、物种情况和社会经济 3 大方面 19 个具体指标来构建。重要因素主要指的是与诸因素相关性高的因素和在系统中起驱动作用的因素, 把控这 2 大类重要指标是降低脆弱性的关键。综合以上研究结果可知:

前一类包括渔业资源、政策与管理、捕捞强度、经济规模、种群生殖能力、经济依赖性、生产效率, 它们与其他指标之间的联系紧密, 相关性高, 在因素之间有着牵一发而动全身的地位。其中尤其要注重对渔业资源和捕捞强度的合理管控, 渔业资源是重要度、依赖性、驱动力均很高的因素, 是整个系统的核心, 而捕捞强度是社会系统和生态系统产生耦合作用的桥梁^[8]。

对于后一类, 从综合影响力角度分析, 系统驱动因素包括海表面温度、叶绿素 a 质量浓度、海面高度、海流、净初级生产力、科技投入、政策与管理, 其中影响大的是科技投入和政策与管理; 从影响范围来看, 驱动作用强的是科技投入。气候与环境因素($f_1 \sim f_5$) 虽然在我国远洋鱿钓渔业脆弱性系统中起驱动作用, 但是影响力并不是很

高,能够直接影响到因素并不多,其进一步作用到社会生活生产中的影响更加不明显。由于气候与环境指标的不易控制性和影响的不明显性,需通过控制其他几个驱动型因素来实现对各指标的改变,进而降低系统脆弱性。尤其是科技投入和政策与管理,不仅影响范围大,强度也高,因此加大科技投入,合理实行政策,进行有效管理是降低我国远洋鱿钓渔业脆弱性的重要手段。

3.3 基于 DEMATEL-ISM-MICMAC 的系统结构分析

除去最核心的因素渔业资源外,系统可分为 4 个层级,其层级结构与因素特点有关。驱动因素除海面高度外,都位于层次结构的较低两层,是我国远洋鱿钓渔业脆弱性较深层次的致因,对其他各因素产生推动作用。海面高度因在所有指标中既最不易受影响,加之对其他指标的影响也最低,故位于骨架图顶层。与其他因素相关性高的指标都位于骨架图的中间两层,它们除了相互之间联系紧密,还承上启下地将引起脆弱性的各指标联系起来,构成一个相互联系的有机脆弱性系统。顶层因素中海面高度很大程度影响着渔场资源的分布,其他顶层因素则是从人类需求、经济发展和管理方面较直接地影响系统脆弱性。

MICMAC 根据作用将指标分为关联因素、调整因子、驱动因素、依赖因素和自主因素,其作用可通过骨架图的有向连接线直观地表达出来。自主因素指向和导出的关系线都较少,其相关度排名也靠后;依赖因素多为指向性的线条,驱动因素则导出性线条居多,关联因素和调整因子关系线总数都比较多,区别在于调整因子是驱动力或依赖性为均值水平的因素,多为链接相邻层或者层间的关键因素,位于底层的海表面温度、海流、净初级生产力是因直接关系到枢纽因素捕捞强度而具有调整作用。而关联因素更注重与其他因素之间的联系紧密程度,对驱动力和依赖性要求更高,要达到均值水平以上。

综合以上分析可知,降低脆弱性,除了关注对关键因素的监控与管理,还需要根据因素所处的层次和因素分类,采取针对性的措施。根源性管理要针对骨架图最低两层的指标,管控好这些指标是我国远洋鱿钓渔业长期健康发展的前提。尽管有的见效慢,如:气候与环境变化的影响可

能需经过长久的积累才会爆发,但进行气候与环境变化长期尺度的研究及早未雨绸缪是有必要的;改善脆弱性最重要的是要加强对中间两层指标的管理,它们与众多指标之间存在关系;控制顶层因素可以直接对我国远洋鱿钓渔业脆弱性产生影响。另外,应同时根据因素分类情况把握对不同指标管控的主次性。降低系统脆弱性,重点是对关联因素、调整因子和驱动因素的监控,依赖因素一般需要通过改变其他因素间接进行调整,自主因素则相应减少关注度和投入度即可。

4 结论与展望

本文的重点是构建中国远洋鱿钓渔业脆弱性指标体系,分析脆弱性指标因素之间的关系,建立因素的层次结构并根据驱动力和依赖性对其分类,以便专家深刻理解因素间的作用情况,识别关键指标因素和特定作用的因素,在进行对我国远洋鱿钓渔业的监控和管理时有的放矢,而不是考虑所有的因素。DEMATEL-ISM-MICMAC 法分析可知,我国远洋鱿钓渔业脆弱性指标体系中的最关键因素为渔业资源、捕捞强度、科技投入和政策与管理。其重要性体现在:渔业资源、捕捞强度和政策管理与其他因素相关性最高,表现为影响范围和影响强度的综合作用强;而科技投入和政策管理在系统中起驱动作用,前者作用范围最广,后者综合驱动力(包括范围和强度)最强。根据因素之间的关系和可达路径,将指标体系构建为一个以渔业资源为核心的 4 级递阶层次结构,从下到上依次为本质致因 L4、深层致因 L3、过渡致因 L2 和近邻致因 L1,不同层级的指标在系统中有着各自的地位和特点,据此可实施不同阶段的管理规划,根源性管理需对 L4、L3 长期监管,L2 和 L3 需要重点把控,L1 在短时期内对脆弱性的改变有明显效果。而根据因素的作用,可将指标分为关联因素、调整因子、驱动因素、依赖因素和自主因素 5 大类,其作用可直观地反映在层次结构的连接路径上,根据路径多少和指向可对指标进行主次管理,要把重点放在关联因素、调整因子和驱动因素上,其次为依赖因素,自主因素无需过多关注。基于本文的研究,管理者可根据指标关系、作用和层次实施不同的适应性管理策略。

但此研究仍具有一定的局限性:数据来源于专家经验和打分,虽然具有一定的权威性和代表性,但不可避免地包含有主观性和不确定性,可能会与真实情况存在一定的偏差,可尝试进一步设计验证模型进行验证;ISM 可达矩阵的 0、1 表示忽略了不明显的关系,未来可结合模糊理论进行纠正;本文的脆弱性指标是在社会-生态耦合系统范围内选择的,舍弃了对耦合系统影响不大的气候和环境指标及物种指标,这可能会导致低估气候与环境因素对我国远洋鱿钓渔业系统本身生态系统脆弱性和物种脆弱性的影响;据研究表明大中尺度的气候事件对远洋鱿钓渔业意义重大,但本文研究对象是三大海域的代表性鱿鱼,其中尺度气候变化及对相对应渔业产生的影响差别较大,无法进行统一打分,脆弱性评估数据也不便采集,故本次研究没有将该因素纳入指标体系。

参考文献:

- [1] 董恩和,黄宝善,石胜旗,等. 新时代背景下我国远洋鱿钓渔业可持续发展的有关建议[J]. 水产科技情报, 2020, 47(5): 261-265.
DONG E H, HUANG B S, SHI S Q, et al. Suggestions on the sustainable development of pelagic squid fishing industry in China in the New Era[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2020, 47(5): 261-265.
- [2] XU Z. Analysis of crucial influencing factors of library health information service quality based on DEMATEL[J]. World Scientific Research Journal, 2020, 6(11): 111-119.
- [3] SHAKERI H, KHALILZADEH M. Analysis of factors affecting project communications with a hybrid DEMATEL-ISM approach (A case study in Iran)[J]. Heliyon, 2020, 6(8): e04430.
- [4] WAQAS M, QIANLI D, AHMAD N, et al. Modeling reverse logistics barriers in manufacturing industry of Pakistan: an ISM and MICMAC approach [J]. Journal of Advanced Manufacturing Systems, 2020, 19(2): 309-341.
- [5] 高源,王钧丹. 环渤海地区海洋渔业生态系统脆弱性的时空演变及影响因素分析[J]. 经济论坛, 2020(4): 95-102.
GAO Y, WANG J D. Spatiotemporal evolution of marine fishery ecosystem vulnerability and its influencing factors in Bohai Rim Region [J]. Economic Forum, 2020(4): 95-102.
- [6] 李博,金校名,杨俊,等. 中国海洋渔业产业生态系统脆弱性时空演化及影响因素[J]. 生态学报, 2019, 39(12): 4273-4283.
LI B, JIN X M, YANG J, et al. Spatio-temporal evolution and influencing factors for marine fisheries industry ecosystem vulnerability in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(12): 4273-4283.
- [7] 陈琦,胡求光. 中国海洋渔业社会-生态系统脆弱性评价及影响因素分析[J]. 农业现代化研究, 2018, 39(3): 468-477.
CHEN Q, HU Q G. The vulnerability evaluation and influencing factors of the socio-ecological system of China's marine fisheries[J]. Research of Agricultural Modernization, 2018, 39(3): 468-477.
- [8] 陈琦,徐源. 我国海洋渔业社会-生态系统脆弱性影响因素分析:基于 ISM 模型[J]. 科技与管理, 2019, 21(1): 21-26, 32.
CHEN Q, XU Y. Analysis of factors influencing marine fisheries social-ecological systems vulnerability in China based on interpretative structural modeling [J]. Science-Technology and Management, 2019, 21(1): 21-26, 32.
- [9] JOHNSON J E, WELCH D J. Marine fisheries management in a changing climate: a review of vulnerability and future options[J]. Reviews in Fisheries Science, 2009, 18(1): 106-124.
- [10] 郑丽丽,伍玉梅,樊伟,等. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔场叶绿素 a 分布及其与渔场的关系[J]. 海洋湖沼通报, 2011(1): 63-70.
ZHENG L L, WU Y M, FAN W, et al. The distribution of chlorophyll-a and its relationship with *Illex argentinus* fishing ground of southwest Atlantic Ocean [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2011(1): 63-70.
- [11] 沈新强,王云龙,袁骥,等. 北太平洋鱿鱼渔场叶绿素 a 分布特点及其与渔场的关系[J]. 海洋学报, 2004, 26(6): 118-123.
SHEN X Q, WANG Y L, YUAN Q, et al. Distributional characteristics of chlorophyll a and relation to the fishing ground in the squid fishing ground of the northern Pacific Ocean[J]. Haiyang Xuebao, 2004, 26(6): 118-123.
- [12] 樊伟. 卫星遥感渔场渔情分析应用研究:以西北太平洋柔鱼渔业为例[D]. 上海:华东师范大学, 2004.
FAN W. A study on application of satellite remote sensing in marine fishing-ground analysis and fishing condition forecasting: a case of *Ommastrephes bartramii* fisheries in Northwest Pacific Ocean[D]. Shanghai: East China Normal University, 2004.
- [13] 魏广恩. 北太平洋柔鱼渔场的时空分析与资源丰度的预测[D]. 上海:上海海洋大学, 2018.
WEI G E. Spatial and temporal analysis of *Ommastrephes bartramii* fishing ground and its resource abundance prediction in the North Pacific Ocean[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [14] 余为. 西北太平洋柔鱼冬春生群对气候与环境变化的响应机制研究[D]. 上海:上海海洋大学, 2016.
YU W. Response mechanism of winter-spring cohort of neon flying squid to the climatic and environmental variability in

- the Northwest Pacific Ocean [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016.
- [15] 李婷, 赵高玲, 田园园, 等. 基于净初级生产力的东南太平洋茎柔鱼资源变动研究[J]. 海洋渔业, 2020, 42(5): 513-523.
- LI T, ZHAO S L, TIAN Y Y, et al. Analysis of stock dynamics of *Dosidicus gigas* in the Southeast Pacific Ocean off Peru based on net primary production[J]. Marine Fisheries, 2020, 42(5): 513-523.
- [16] 余为, 陈新军, 易倩. 西北太平洋海洋净初级生产力与柔鱼资源量变动关系的研究[J]. 海洋学报, 2016, 38(2): 64-72.
- YU W, CHEN X J, YI Q. Relationship between spatio-temporal dynamics of neon flying squid *Ommastrephes bartramii* and net primary production in the northwest Pacific Ocean[J]. Haiyang Xuebao, 2016, 38(2): 64-72.
- [17] 黄欣, 周应祺. 我国远洋鱿钓渔业发展浅析[J]. 山西农业科学, 2009, 37(10): 77-80.
- HUANG X, ZHOU Y Q. Primary study on the development of deep-sea squid fishery in China [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2009, 37(10): 77-80.
- [18] KIM S Y, NGUYEN M V. Mapping the complexity of international development projects using DEMATEL technique [J]. Journal of Management in Engineering, 2021, 37(2): 05020016.
- [19] RAUT R D, YADAV V S, CHEIKHROUHOU N, et al. Big data analytics: Implementation challenges in Indian manufacturing supply chains [J]. Computers in Industry, 2021, 125: 103368.
- [20] VENKATESANARAYANAN P T, THIRUNAVUKKARASU R, SUNDER M V. Indispensable link between green supply chain practices, performance and learning: An ISM approach [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 279: 123387.
- [21] KADAM S, BANDYOPADHYAY P K. Modelling passenger interaction process (PIP) framework using ISM and MICMAC approach[J]. Journal of Rail Transport Planning & Management, 2020, 14: 100171.
- [22] AGARWAL R, SHIRKE A, PANACKAL N. Enablers of the collective bargaining in industrial relations: a study of India's industrial policies through ISM and MICMAC Analysis[J]. The Indian Journal of Labour Economics, 2020, 63(3): 781-798.
- [23] 李军华, 王晓帅, 张善杰. 基于 DEMATEL-ISM 模型的高新技术影响因素分析: 以智慧港口为例[J]. 情报探索, 2020(6): 54-61.
- LI J H, WANG X S, ZHANG S J. Analysis of influence factors of industrial technology based on DEMATEL-ISM model: case study of smart port[J]. Information Research, 2020(6): 54-61.
- [24] 周德群, 章玲. 集成 DEMATEL/ISM 的复杂系统层次划分研究[J]. 管理科学学报, 2008, 11(2): 20-26.
- ZHOU D Q, ZHANG L. Establishing hierarchy structure in complex systems based on the integration of DEMATEL and ISM[J]. Journal of Management Sciences in China, 2008, 11(2): 20-26.
- [25] 张勇, 王祥宇. 基于 DEMATEL-ISM-BN 的施工人员不安全行为致因研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2020, 16(11): 110-116.
- ZHANG Y, WANG X Y. Study on causes of unsafe behaviors of construction workers based on DEMATEL-ISM-BN [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2020, 16(11): 110-116.
- [26] 申霞, 夏越, 杨校毅, 等. 集成 DEMATEL/ISM 的煤矿工人违章行为影响因素研究[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(9): 145-151.
- SHEN X, XIA Y, YANG X Y, et al. DEMATEL and ISM-based study on factors influencing miners' violation behavior [J]. China Safety Science Journal, 2015, 25(9): 145-151.
- [27] 魏倩男. 基于 ISM-MICMAC 的虚拟产业集群中合作技术创新影响因素研究[J]. 现代商贸工业, 2020, 41(6): 14-17.
- WEI Q N. A study on influencing factors of cooperative technology innovation in virtual industry cluster based on ISM-MICMAC [J]. Modern Business Trade Industry, 2020, 41(6): 14-17.
- [28] CHEN J K. An extensional micmac method to identify the key factors [J]. Academic Journal of Business & Management, 2020, 2(5): 75-81.
- [29] SONER O. Application of fuzzy dematel method for analysing of accidents in enclosed spaces onboard ships [J]. Ocean Engineering, 2021, 220: 108507.
- [30] QUIÑONES R S, CALADCAD J A A, HIMANG C M, et al. Using Delphi and fuzzy DEMATEL for analyzing the intertwined relationships of the barriers of university technology transfer: Evidence from a developing economy [J]. International Journal of Innovation Studies, 2020, 4(3): 85-104.
- [31] AKHAVAN A, GHATROMI A R, AZAR A. Mapping sustainable production model using ISM and fuzzy DEMATEL [J]. Industrial Management Studies, 2017, 15(46): 1-26.
- [32] SINGH K, MISRA M. Developing an agricultural entrepreneur inclination model for sustainable agriculture by integrating expert mining and ISM-MICMAC [J]. Environment, Development and Sustainability, 2021, 23(4): 5122-5150.
- [33] 宋娜, 周旭瑶, 唐亦博, 等. 基于 DEMATEL-ISM-MICMAC 法的康养旅游资源评价指标体系研究[J]. 生态经济, 2020, 36(5): 128-134.
- SONG N, ZHOU X Y, TANG Y B, et al. An approach to the health and wellness tourism resources assessment based on DEMATEL-ISM-MICMAC [J]. Ecological Economy, 2020, 36(5): 128-134.
- [34] RAJPUT S, SINGH S P. Identifying industry 4.0 IoT enablers by integrated PCA-ISM-DEMATEL approach [J]. Management Decision, 2019, 57(8): 1784-1817.

- [35] SINGH R, BHANOT N. An integrated DEMATEL-MMDE-ISM based approach for analysing the barriers of IoT implementation in the manufacturing industry [J]. *International Journal of Production Research*, 2020, 58(8): 2454-2476.
- [36] ALLISON E H, PERRY A L, BADJECK M C, et al. Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries[J]. *Fish and Fisheries*, 2009, 10(2): 173-196.
- [37] DAS M K, SRIVASTAVA P K, REJ A, et al. A framework for assessing vulnerability of inland fisheries to impacts of climate variability in India [J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2016, 21(2): 279-296.
- [38] MONNEREAU I, MAHON R, MCCONNEY P, et al. The impact of methodological choices on the outcome of national-level climate change vulnerability assessments: An example from the global fisheries sector[J]. *Fish and Fisheries*, 2017, 18(4): 717-731.
- [39] CHEN Q, SHEN W T, YU B. Assessing the vulnerability of marine fisheries in China: towards an inter-provincial perspective[J]. *Sustainability*, 2018, 10(11): 4302.

Selection and analysis of vulnerability indexes of China's pelagic squid jigging fishery based on DEMATEL-ISM-MICMAC method

ZHANG Yuqing¹, CHEN Xinjun^{1,2,3,4}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture, Shanghai 201306, China; 3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China)

Abstract: Pelagic squid jigging fishery is an important component of China's pelagic fishery. For the sustainable and high-quality development of China's pelagic squid jigging fishery, this paper established its social-ecosystem vulnerability index system from three aspects-climate and environment, species, and social economy, based on the theory of vulnerability. The DEMATEL-ISM-MICMAC (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory-Interpretive Structure Modeling-Matrixed Impacts Corises-multiplcation Appliance Classement) method was used to analyze the relationship between indicators and the structure of the index system. The results show that: The vulnerability indicators of China's pelagic squid jigging fishery are linked, among which the most important are fishery resources, fishing intensity, scientific and technological investment, and policy and management; All indicators can be divided into five categories according to their roles: related factors, adjustment factors, driving factors, dependence factors and autonomous factors, among which the first three categories should be paid more attention to; Moreover, apart from fishery resources, the vulnerability system can be divided into four levels: essential causes L4, deep causes L3, transition causes L2 and neighbor causes L1. Long-term monitoring of L3 and L4 indicators, attention to L2 and L3 indicators, and targeted adjustment of L1 indicators are effective ways to maintain the long-term healthy development of pelagic squid jigging fishery in China. This study can not only identify the key factors that affect the vulnerability of pelagic squid jigging fishery and provide theoretical guidance for effective management, but also lay a foundation for the empirical assessment of vulnerability.

Key words: pelagic squid jigging fishery; vulnerability; indicator; DEMATEL; ISM; MICMAC