

对应分析在福建拖网捕捞影响因素分析中的应用

苏新红, 沈长春, 洪明进, 叶泉土

(福建省水产研究所, 福建 厦门 361012)

摘要:采用随机抽样调查的方法在福建省选择 29 个拖网作业单位(样品)、11 个作业因素(变量),用对应分析法对其影响因素进行分析,以判断福建拖网捕捞效率的主要影响因素以及了解作业单位(作业船)之间和作业单位与变量之间的关系。结果表明,当前影响福建拖网作业的主导因素是网具结构,其次是渔船的主机功率和作业天数。据此,建议从适当增大网口网目尺寸和网口周长、增加船舶主机功率和延长作业天数等方面入手,提高拖网作业单位捕捞效率。本文还通过分析平面变量与样品聚点图,将福建拖网作业分成 4 个类群,通过分析各类群与各作业生产因素的亲疏关系,进一步了解各类群的特点,可对生产单位和管理者调整拖网作业、优化生产资源配置等提供理论参考。[中国水产科学, 2007, 14(3):444-449]

关键词:拖网作业;对应分析;影响因素;作业分类

中图分类号:S97 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8737-(2007)03-0444-06

拖网是福建海区主要的海洋捕捞作业形式之一。近年来福建拖网作业呈现多元化、快速发展的态势,作业船只的吨位、功率,以及网具的结构、装配等亦日趋复杂,因此更加难以判断影响福建拖网捕捞效率的主要因素以及了解作业单位之间和作业单位与各种变量之间错综复杂的关系。

对应分析又称 R-Q 型分析,是在 R 型和 Q 型因子分析的基础上发展起来的一种统计方法,最早由法国统计学家 Beozecri 于 1970 年提出^[1],它不仅反映变量的结构和样品的结构,而且还同时反映变量结构和样品结构之间的关系,从而给研究结果的分析带来极大的方便,因此在自然科学和社会科学领域均得到广泛的应用。对应分析在渔业上的应用国外已有些报道,如拖网渔获量与种类组成随季节、渔场变化^[2-4],渔具种类与捕捞对象的关系^[5-6],也有用于分析鱼种遗传关系^[7]或物种多样性与群落分析^[8-10]等方面。国内目前仅见用去势对应分析(DCA)对莱州湾拖网渔获调查分析的报道^[11]。而采用对应分析法分析不同因素对拖网捕捞效率影响,国内外均未见报道。本研究采用对应分析法对福建主要渔区的拖网作业进行分析,旨在探讨目前影响福建拖网捕捞效率的主要因素,同时探明各作业单位与各作业因素之间的关系,并对各作业单位

进行科学的归类。为拖网作业各生产要素的优化配置和拖网的量化分类与管理提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 数据来源

研究数据取自 2004~2005 年间对福建闽东地区连江县的苔菴镇,闽中地区晋江市的深沪镇、石狮市的祥芝村、惠安县浮山村,闽南地区东山县铜陵镇、宫前村等重点拖网村镇的调查,这些村镇的拖网船数约占福建大功率(110 kW 以上)拖网总船数的 80% 左右。本研究共抽样调查了拖网作业单位 108 个(样品),每个作业单位调查了 11 个因素变量(表 1)。考虑到类型相同村镇往往具有相类似的作业船只、网具结构和配备,同时为了避免计算数据过于庞大,从 108 个作业单位中按 30% 的比例抽取 33 艘作业船($n=29$),详见表 2。相关数据与观测因素变量 $p=11$ 构成了一个 $n \times p$ 原始数据矩阵 X 。

1.2 计算方法^[12]

1.2.1 原始数据规格化 计算原始数据阵 X 规格化概率矩阵 $P=X/T=(p_{ij})$,其中 T 为 X 矩阵的总和。

收稿日期:2006-09-17; 修订日期:2006-12-06.

基金项目:福建省海洋与渔业局渔业处资助项目.

作者简介:苏新红(1961-),男,副研究员,主要从事海洋渔业资源与管理等研究. Tel: (0592)5678565; E-mail: xhsu30@yahoo. com. cn

表 1 观测的因素变量名称和含义

Tab. 1 Name and explanation of observed variables

因子 Factor	含义 Explanation	因子 Factor	含义 Explanation	因子 Factor	含义 Explanation
A	年总产量/t Annual catch	E	网衣长度/m Net length	I	拖速/kt Tow Speed
B	总吨位/t Gross tonnage	F	上纲长度/m Float rope length	J	作业天数/d Fishing days
C	主机功率/kW Total power	G	最大网目尺寸/cm Maximal mesh	K	船龄/a Vessel age
D	网口周长/m Net perimeter	H	囊网网目尺寸/cm Minimal mesh		

表 2 抽样调查的样品船名称和编号

Tab. 2 Name and serial number of sampled vessels

编号 Code	船名 Vessel name	编号 Code	船名 Vessel name	编号 Code	船名 Vessel name
1	闽连渔 0953/0954 Minlianyu 0953/0954	11	闽晋渔 6159/6160 Minjinyu 6159/6160	21	闽东渔 1386 Mindongyu 1386
2	闽连渔 0997/0998 Minlianyu 0997/0998	12	闽晋渔 6192/6193 Minjinyu 6192/6193	22	闽东渔 1783 Mindongyu 1783
3	闽连渔 2096 Minlianyu 2096	13	闽东渔 4505 Mindongyu 4505	23	闽惠渔 6303 Minhuiyu 6303
4	闽连渔 2187 Minlianyu 2187	14	闽东渔 4516 Mindongyu 4516	24	闽惠渔 6318 Minhuiyu 6318
5	闽晋渔 2213 Minjinyu 2213	15	闽东渔 4696 Mindongyu 4695	25	闽惠渔 6323 Minhuiyu 6323
6	闽晋渔 2913 Minjinyu 2913	16	闽东渔 4809 Mindongyu 4809	26	闽晋渔 5317 Minjinyu 5317
7	闽晋渔 5436 Minjinyu 5436	17	闽东渔 1940 Mindongyu 1940	27	闽晋渔 5318 Minjinyu 5318
8	闽晋渔 5441 Minjinyu 5441	18	闽东渔 1966 Mindongyu 1966	28	闽晋渔 5330 Mimnjinyu 5330
9	闽晋渔 5448 Minjinyu 5448	19	闽东渔 1911 Mindongyu 1911	29	闽晋渔 5423 Mimnjinyu 5423
10	闽晋渔 5489 Minjinyu 5489	20	闽东渔 1929 Mindongyu 1929		

1.2.2 计算数据变换矩阵 Z 利用任意两个变量

之间的协方差公式 $a_{ij} = \sum_{a=1}^n z_{ai}z_{aj}$, 计算得出数据变换矩阵 Z, 令 $Z=(z_{ij}), A=(a_{ij})$, 则有 $A=Z'Z$ 。

1.2.3 R 型因子分析 计算矩阵 $Z'Z$ 可解得非零特征根 λ_i , 设非零特征根为 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \dots \geq \lambda_r$, 求相应的特征向量 u_1, u_2, \dots, u_r , 并使之单位化。按 $\sum_{i=1}^k \lambda_i (\sum_{i=1}^p \lambda_i)^{-1}$ 计算累积贡献率并确定因子个数 k ; 根据累积贡献率大小, 二维平面分析通常取 $k=2$, 因子轴记为 F_1 和 F_2 , 从而得到因子载荷矩阵:

$$F = \begin{bmatrix} u_{11} \sqrt{\lambda_1} & u_{12} \sqrt{\lambda_2} \\ \dots & \dots \\ u_{p1} \sqrt{\lambda_1} & u_{p2} \sqrt{\lambda_2} \end{bmatrix}$$

在因子轴 F_1 和 F_2 构成的平面上作变量点图。

1.2.4 Q 型因子分析 首先根据 R 型因子分析中所得 r 个特征值, 计算对应矩阵 ZZ' 的特征向量 $V_1 = Zu_1, V_2 = Zu_2, \dots, V_r = Zu_r$; 将特征向量单位化, 得 Q 型因子分析矩阵:

$$G = \begin{bmatrix} v_{11} \sqrt{\lambda_1} & v_{12} \sqrt{\lambda_2} & \dots & v_{1r} \sqrt{\lambda_r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{n1} \sqrt{\lambda_1} & v_{n2} \sqrt{\lambda_2} & \dots & v_{nr} \sqrt{\lambda_r} \end{bmatrix}$$

根据特征值累积贡献率选取的因子个数与 R 型因子分析一致。最后在与 R 型因子分析相应的因子平面上作样品点图。因子轴记为 G_1 和 G_2 。由于 F_1-F_2 因子平面与 G_1-G_2 因子平面上的两条直角坐标重合,这样就可在一个平面上同时显示变量与样品间的相互关系,从而可方便、直观地作分析与解释。

2 结果与分析

2.1 特征值及累积贡献率

根据 R 型因子分析所获得的特征值及累积方差贡献率如表 3 所示。

表 3 特征值及累积贡献率

Tab. 3 Eigenvalues and component contribution rate

因子数 Component no.	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate	累积值/% Cumulative contribution
1	0.106 4	52.540 0	52.540 0
2	0.057 9	28.580 0	81.120 0
3	0.024 1	11.870 0	92.990 0

2.2 R 型因子分析

根据所计算协方差阵的特征值和所对应的特征向量,前两个主成分累积贡献率已经达到 81.12%

(表 3),可以很好地反映各作业因素的大部分信息,故选取前两个主成分即 F_1 和 F_2 ,计算得出 R 型因子载荷矩阵(表 4)。

表 4 R 型因子载荷矩阵

Tab. 4 R factor loading matrix

因子 Factor	F_1	F_2	因子 Factor	F_1	F_2
A	-0.059 0	-0.173 0	G	0.290 5	0.024 3
B	-0.028 6	0.008 3	H	-0.010 0	0.015 0
C	-0.087 6	0.042 5	I	-0.006 3	0.021 9
D	0.060 5	-0.012 9	J	-0.064 4	0.139 1
E	0.003 7	0.007 4	K	-0.034 1	0.047 4
F	-0.030 6	0.054 7			

注:A~K 含义见表 1。

Note: The explanation of A-K in Tab. 1.

从表 4 可以看出,主成分 F_1 在网具最大网目尺寸、主机功率、作业天数和网口周长上的载荷较大,表明 F_1 主要综合了网具结构、船舶功率大小和作业天数方面的信息,这是当前福建拖网作业起主导影响作用的因素。主成份 F_2 在年总产量和作业天数上的载荷较大,主要反映了渔船年总产量和作业天数等方面的信息。可以看出当前影响福建拖网作业的主要因素是网具结构,其次是渔船的主机功率大小和作业天数。所以,对福建目前为数仍然众多但效益欠佳的小型拖网渔船,要提高其捕捞效率,建议适当地增大网口网目尺寸、提高船舶主机功率和延长作业天数。

2.3 Q 型因子分析

对应 2.2 中的前两个特征值计算其对应于矩阵

ZZ' 的特征向量 v_1 和 v_2 ,可得 Q 型因子载荷矩阵(表 5)。利用表 5 的数据在 Q 型因子平面(G_1-G_2)上作样品聚点图得图 1,可以分析样品与样品之间的关系。从图 1 可以看出,全省的拖网作业大体可分为 4 种作业类群。因子轴 F_2 左下端的第三象限的作业船只划为第 I 类,包括了{1,2,8,10}4 个作业单位;因子轴 F_2 右端的作业船只划为第 II 类,该类包括了{11,12,26,27,28,29}6 个作业单位;靠近坐标系原点附近的作业船只划为第 III 类,该类包括了{7,9}2 个作业单位;原点上端端的作业船只划为第 IV 类,该类集中了{3,4,5,6,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25}17 个作业单位。结合原始数据分析可以看出类群内样品间的因素特征较相似,类群间的样品的因素特征差异较大。

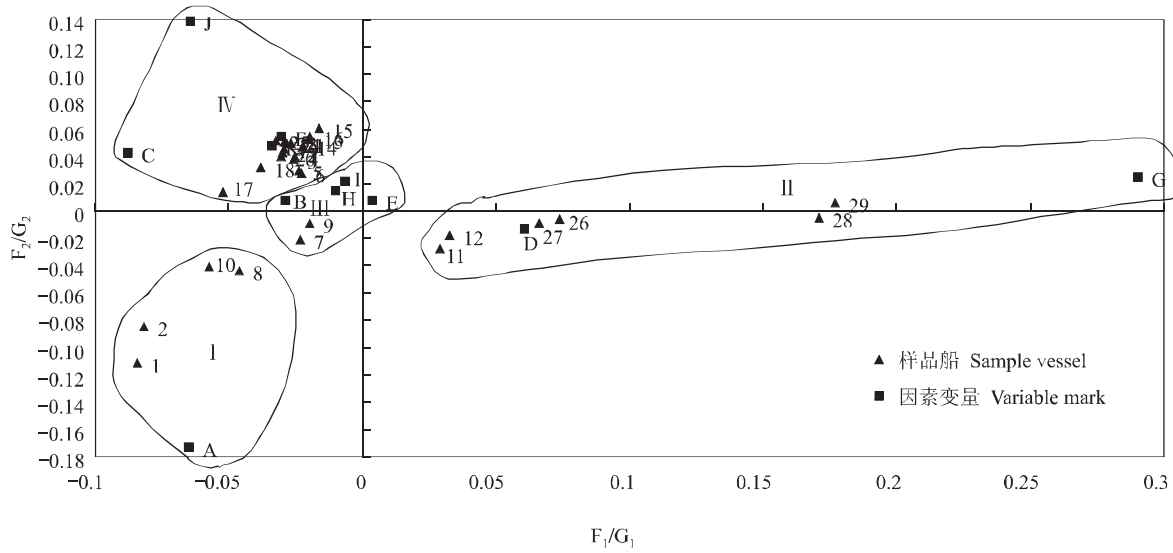


图 1 对应分析因子平面指标变量、样品聚点图

注:A~K—所观测的因素变量,详情列于表 1;1~29—抽样调查的样品船,详情列于表 2; I ~ IV—拖网作业类群。

Fig. 1 Correspondence analysis plot for variables and samples

Note:A~K—Observed variables, see Tab. 1; 1~29—Sample vessels, see Tab. 2; I ~ IV—Trawling assorting groups.

表 5 Q 型因子载荷矩阵

Tab. 5 Q factor loading matrix

样品序号 Sample no.	G_1	G_2	样品序号 Sample no.	G_1	G_2
1	-0.084 3	-0.111 2	16	-0.019 5	0.055 0
2	-0.081 8	-0.084 4	17	-0.052 0	0.013 6
3	-0.025 7	0.037 5	18	-0.037 9	0.031 5
4	-0.025 1	0.039 4	19	-0.029 4	0.045 1
5	-0.023 7	0.029 2	20	-0.030 4	0.039 7
6	-0.022 6	0.027 9	21	-0.027 0	0.050 0
7	-0.023 4	-0.020 9	22	-0.030 0	0.042 6
8	-0.046 0	-0.044 1	23	-0.029 6	0.050 8
9	-0.019 8	-0.008 8	24	-0.028 3	0.049 1
10	-0.057 3	-0.040 7	25	-0.032 6	0.051 5
11	0.028 9	-0.027 7	26	0.073 7	-0.005 9
12	0.032 6	-0.017 6	27	0.066 3	-0.008 8
13	-0.019 8	0.052 6	28	0.170 8	-0.004 9
14	-0.022 1	0.047 6	29	0.176 8	0.005 4
15	-0.016 1	0.060 5			

2.4 样品与变量之间关系分析

在 R 型因子平面 (F_1-F_2) 上利用表 4 的数据作因素变量聚点图(图 1), 根据距离法分析图 1 可以看出, 归入第 I 类的作业单位与 A 因素的关系较密切, A 变量代表年总产量, 表明该类作业船只的产量较高, 经济效益好, 这一类型的代表是闽连渔

0953/0954 和闽连渔 0997/0998、闽晋渔 5489 和闽晋渔 5441; 前者代表了福建连江县的钢质双拖作业, 后者代表了福建省晋江市的部分钢质单拖作业, 该类渔船特点是船舶功率大(单船功率 441 kW)、设备精良、技术好、产量高(单拖年产量在 600~700 t/艘、双拖年产量在 1 000 t/对以上, 有的高达 1 500

t/对),是目前福建省拖网作业经济效益最好的一类作业船只。第Ⅱ类的作业船只与 D 和 G 变量关系较密切, D 和 G 代表了网口周长和最大网目尺寸,以福建省晋江市的疏目快拖为代表,这类作业主要分布在福建省的晋江市、石狮市、龙海市等地,这类船只的特点是网口周长较大,最大周长在400 m以上、最大网口网目8 m、单船功率较大、设备较好,该类型作业的年产量较高(500~600 t/船)、经济效益较好。第Ⅲ类的代表是闽晋渔5436和闽晋渔5448,从图1可看出这类作业船只与作业因素 B 、 E 、 H 、 I 因子关系较密切,但是其各项因素变量均聚集在坐标系的原点附近,因此其各方面的因素特点均不明显,年产量在400~500 t/船之间、经济效益一般。剩下的17个样品归属于第Ⅳ类,该类与因素 C 、 F 、 J 、 K 关系密切,由于这些因子在 F_1 轴上的载荷均表现为负数,表明其特点均表现为功率在110~200 kW、吨位偏小(28~113 t)、网具结构和网目均较小(网口周长在30~60 m、最大网目20~60 cm)、船龄老旧的木质单拖船只,捕捞对象以传统的底层鱼类或低质小杂鱼为主。该类船只抗风能力差、作业天数也不多,年产量在200 t/船以下、经济效益普遍较差。目前,该类型的拖网船是福建拖网作业船数量最多的类型,因此,目前亟待解决的问题是适当提高该类型拖网船的主机功率,淘汰老、小、耗能大、作业性能差的小型拖网渔船,同时相应地增加网口网目尺寸和网口周长。

3 讨论

对应分析是因子分析的进一步推广。当它们被用于分析渔具作业时,因子分析方法可以用于分析处理变量之间的关系并提取综合信息,简化问题的复杂性^[13-14]。从表4的结果可以看出,主成份 F_1 和 F_2 所提取的综合信息与文献[14]的研究结果相吻合,即目前影响福建拖网作业的主要因素是网具结构、其次是渔船的主机功率大小和作业天数,这个结果也符合实际情况。目前渔民主要通过扩大网口周长和网口网目尺寸、增大渔船功率、改善船舶的作业性能以及增加抗风能力以延长海上作业时间等方式来提高产量。由此可见,因子分析法和对应分析法均可用于受多种因素影响的渔具作业分析。但因子分析法在作变量和样品分析时,把R型和Q型分析看成两种分离的概念,无法使R型和Q型因子分析同时进行,损失了很多有用的信息,而对应分析则

可以将R型和Q型因子分析两者有机统一起来,即可以处理变量之间的关系并提取综合信息,同时还可以处理样品之间以及变量和样品之间的关系,极大地方便了研究结果的分析,因此,该方法在为渔具作业的量化研究提供分析工具时比因子分析更具有优越性。

传统的拖网分类一般有3种,(1)按照作业性质如单船拖网、双船拖网;(2)按船舶的吨位、功率大小;(3)按照船舶的外壳性质如钢质拖网或木质拖网等方法来分类。这些方法虽然简单明了,但如果要对拖网作业做更加科学、深入细致的研究分析时就显得不够。因而采用对应分析法对拖网渔具进行多变量量化分类是可行的,它不但可以将具有相似特征的拖网作业样品聚集在一起形成一个类群,而且可以在同一个平面上把因素变量同时表示出来,从中观测各个拖网作业类群与哪些因素变量关系比较密切,这对有的放矢、科学地指导生产、渔具作业调整等均具有重要的参考意义。

参考文献:

- [1] 雷钦礼. 经济管理多元统计分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 2002: 216-227.
- [2] Vianna M, Almeida T. Bony fish bycatch in the southern Brazil pink shrimp (*Farfantepenaeus brasiliensis* and *F. paulensis*) fishery[J]. Braz Arch Biol Technol, 2005, 48(4): 611-623.
- [3] Gaertner J C, Chessel D, Bertrand J. Stability of spatial structures of demersal assemblages: a multitable approach[J]. Aquat Living Resour, 1998, 11: 75-85.
- [4] Draganik B, Psuty-Lipsk I. Spatial and temporal distribution of flounder fished in the southern Baltic: Analysis of the catch records from Polish cutter logbooks[J]. Bull Sea Fish Inst, 2002, 3(157): 3-17.
- [5] Mérona B, de Bernadac-Gardel L. An attempt to disentangle the complexity of Amazon fisheries (The Manaus fisheries 1976-1988)[C]//Proceedings of the VI International Congress on the Biology of Fishes, Manaus, Brasil, 2004.
- [6] Yeh H M, Ohta S. Influence of velocity and types of beam trawl towing on deep-sea demersal fish and decapod crustacean samples[J]. J Oceanogr, 2002, 58: 505-517.
- [7] Simonsen V, Hansen M M, Sarder Md R I, et al. High level of hybridisation in three species of Indian major carps[J]. NA-GA, 2004, 27(1/2): 65-69.
- [8] Harlay X, Koubbi P, Grioche A. Ecology of plaice (*Pleuronectes platessa*) in fish assemblages of beaches of the Opale coast (North of France) during spring 1997[J]. Cybium, 2001, 25(1): 67-80.
- [9] Baran E, Baird I, Cans G. Fisheries bioecology at the Khone

- falls (Mekong River, southern Laos)[M]. Penang: WorldFish Center, 2005, 30—37.
- [10] Francis P M. Geographic distribution of marine reef fishes in the New Zealand region[J]. *New Zealand J Mar Freshw Res*, 1996, 30: 35—55.
- [11] Jin X. Changes in the community structure of the Laizhou Bay [J]. *Asian Fish Sci*, 2000, 2000(13): 215—224.
- [12] 何晓群. 现代统计分析方法与应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2001: 345—353.
- [13] 苏新红, 沈长春, 郑奕, 等. 福建灯光围网作业捕捞能力的因子分析[J]. *中国水产科学*, 2006, 13(1): 649—654.
- [14] 苏新红, 沈长春, 颜尤明, 等. 闽中地区单拖作业捕捞能力的因子分析[J]. *海洋水产研究*, 2007, 28(1): 19—25.

Application of correspondence analysis to efficiency analysis of trawl industry in Fujian Province

SU Xin-hong, SHEN Chang-chun, HONG Ming-jin, YE Quan-tu

(Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361012, China)

Abstract: Trawl is one of the most important fishing methods in Fujian, China. At present, it has been developed rapidly and shown a tendency to become more multimode. So the gross tonnage and power of fishing vessels, the structure and assembling of their fishing net are becoming more and more complicated. As a result, it is difficult to estimate which are the key factors affecting the fishing efficiency of trawl and to find out what are the relations among fishing units and between fishing units and variables. In order to understand how the varied factors affect the fishing efficiency, we randomly sampled 29 cases of fishing units and selected 11 variables which are relative to fishing efficiency for the Correspondence Analysis. The results show that the key factors which influence the fishing efficiency of Fujian trawl industry present is net structure, engine power and fishing days during a year, respectively. In terms of increasing fishing efficiency for each fishing unit, the proposals of improving net structure, properly increasing main engine power of fishing vessels and prolonging fishing days were offered. This study also divided the fishing units of Fujian into four groups by a scattering plot of correspondence analysis for variables and samples on a plane. By observing the relations among the groups and the relation between groups and variables, the traits of those groups will be better understood. So it will be helpful for fishing units and managers to regulate trawl fishing and optimize allocation of fisheries material elements. [*Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, 14(3): 444—449]

Key words: trawl industry; correspondence analysis; influencing factors; fishing unit assorting