

文章编号: 1000-0615(2000)06-0522-05

实际种群分析法在绿鳍马面鲈资源评估中的应用和改进

陈卫忠, 李长松, 胡 芬

(中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海, 200090)

摘要:从 80 年代初年起,应用实际种群分析法和计算机编程每年对东海绿鳍马面鲈资源量及产量作估算和预报,在 10 多年的工作中,利用计算机运算速度不断提高的优势,对评估方法逐步作了改进,根据捕捞方程采用迭代法直接求算捕捞死亡系数 F 值,利用反复迭代取消了初始值的估算,使得估算精度和计算便利性都有所提高。实践表明,评估和预报结果对渔业生产和管理部门有一定的参考价值。

关键词:绿鳍马面鲈;资源评估;实际种群分析法

中图分类号: S932 文献标识码: A

Application and improvement of Virtual Population Analysis (VPA) in stock assessment of *Thamnaconus septentrionalis*

CHEN Wei-zhong, LI Chang-song, HU Fen

(East China Sea Fisheries Research Institute, Shanghai 200090, China)

Abstract: Stock assessment and yield prediction of filefish, *Thamnaconus septentrionalis* (Günther) in East China Sea has been carrying out every year since early 1980's by using Virtual Population Analysis (VPA) and computer programming. With increase of the computer calculation speed, the assessment method was improved, which increased both the estimation accuracy and convenience. More than 10 years practice showed that the estimated results were useful to the fishing companies and government management boards.

Key words: *Thamnaconus septentrionalis*; stock assessment; Virtual Population Analysis

绿鳍马面鲈 *Thamnaconus septentrionalis* (Günther) 是东海区重要的经济鱼类之一,自 1974 年被开发利用以来,一直是各大渔业公司的主要捕捞对象,在各渔业公司的生产经营中有极其重要的经济地位,马面鲈资源状况一直是各渔业生产单位和管理部门极其关心的问题。许永明和浦仲生^[1]曾用 Beverton-Holt 数理模型对马面鲈资源特征和最大可捕量进行了分析。詹秉义^[2]利用实际种群分析对绿鳍马面鲈资源作了评析,并提出了合理利用建议,我们自 80 年代初期开始应用实际种群分析法进行绿鳍马面鲈资源评估和产量预报的工作,1987 年以后,随着“东海区渔业资源动态监测网”的建立,马面鲈资源评估和产量预报已作为东海区渔业资源动态监测中的一项常规监测任务,每年都要进行评估和发出预报,为马面鲈渔业生产和管理提供参考,受到了渔业生产和管理部门的欢迎。进行实际种群分析,通常要用

收稿日期: 2000-08-08

资助项目: 国家 863 计划资助项目(818-07-03)

作者简介: 陈卫忠(1961-),男,上海市人,研究员,主要从事海洋水产资源研究

到相应的数学模型进行较为复杂的计算和分析。过去用手工方法和计算器计算费时较长且准确性较差。我们自 80 年代中期开始运用计算机编程进行绿鳍马面鲈资源评估和产量预报的工作,但当时由于受计算机运算速度和其它性能的影响,评估工作还不尽如人意。随着计算机技术的不断发展,386、奔腾等高速电脑不断上市,使得我们有机会对评估方法进行改进,特别是 1998 年起,国家 863 项目“海洋渔业遥感信息与资源评估服务系统技术及系统集成、示范试验”把绿鳍马面鲈等经济鱼类的资源评估方法列为重点研究内容之一,通过对评估方法的改进,逐步改善了评估效果。本文介绍实际种群分析法在绿鳍马面鲈资源评估和产量预报工作中的应用及改进。

1 材料与方 法

1.1 材 料

用于绿鳍马面鲈资源评估和产量预报的资料主要有历年马面鲈渔获物年龄组成、历年产量、自然死亡系数 M 、各年龄组平均体重等(表 1、表 2)。

表 1 绿鳍马面鲈渔获物历年渔获量及其年龄组成(%)

Tab.1 Total catches and age compositions of the *T. septentrionalis* in 1976 – 1999

| 年 份 | 渔获量 (t) | 渔 获 物 年 龄 组 成 (%) | | | | | | |
|------|---------|-------------------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1976 | 192 700 | 1.03 | 16.45 | 54.68 | 20.37 | 5.00 | 1.48 | 0.99 |
| 1977 | 148 300 | 4.54 | 50.85 | 32.43 | 10.29 | 1.49 | 0.28 | 0.13 |
| 1978 | 193 000 | 9.00 | 36.78 | 37.67 | 11.74 | 3.22 | 0.91 | 0.68 |
| 1979 | 54 400 | 7.36 | 50.83 | 28.85 | 8.27 | 2.92 | 1.06 | 0.71 |
| 1980 | 111 851 | 2.18 | 55.78 | 26.92 | 10.01 | 3.76 | 1.01 | 0.34 |
| 1981 | 138 271 | 4.31 | 44.55 | 36.45 | 10.54 | 2.75 | 0.76 | 0.64 |
| 1982 | 160 571 | 3.16 | 16.25 | 47.53 | 22.42 | 6.88 | 2.07 | 1.96 |
| 1983 | 42 894 | 5.84 | 24.31 | 34.50 | 22.29 | 7.37 | 2.45 | 3.24 |
| 1984 | 138 752 | 27.29 | 53.16 | 14.20 | 3.15 | 0.92 | 0.53 | 0.75 |
| 1985 | 147 746 | 72.35 | 18.50 | 6.26 | 1.69 | 0.63 | 0.29 | 0.24 |
| 1986 | 192 233 | 26.52 | 64.32 | 6.15 | 1.72 | 0.69 | 0.28 | 0.32 |
| 1987 | 226 918 | 19.99 | 60.12 | 15.74 | 2.25 | 1.21 | 0.45 | 0.24 |
| 1988 | 109 755 | 23.37 | 59.24 | 16.27 | 1.14 | 0.08 | | |
| 1989 | 215 378 | 1.59 | 62.55 | 28.07 | 6.11 | 1.30 | 0.37 | |
| 1990 | 166 526 | 40.74 | 38.32 | 15.61 | 4.00 | 0.77 | 0.14 | 0.43 |
| 1991 | 123 962 | 3.83 | 30.96 | 22.65 | 4.14 | 2.34 | 0.62 | 0.42 |
| 1992 | 69 542 | 67.85 | 10.48 | 5.44 | 8.90 | 4.46 | 1.93 | 0.94 |
| 1993 | 32 120 | 12.47 | 72.92 | 12.81 | 0.69 | 0.55 | 0.35 | 0.221 |
| 1994 | 3 842 | 92.59 | 7.41 | | | | | |
| 1995 | 6492 | 86.57 | 13.43 | | | | | |
| 1996 | 27 735 | 96.53 | 3.47 | | | | | |
| 1997 | 52 928 | 99.56 | 0.44 | | | | | |
| 1998 | 33 515 | 30.96 | 17.76 | 28.43 | 13.71 | 5.08 | 1.52 | 2.53 |
| 1999 | 19 826 | 99.09 | 0.46 | | | | | 0.45 |

表 2 绿鳍马面鲈各年龄组平均体重和自然死亡系数 M

Tab.2 The average body weight for different ages and natural mortality for the *T. septentrionalis*

| 年 龄 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 平均体重 (g) | 45 | 71 | 137 | 191 | 231 | 284 | 370 |
| 自然死亡系数 $M=0.3617$ | | | | | | | |

1.2 模型原理、主要计算公式

实际种群分析法,其原理是根据渔获物年龄组成、渔获量及捕捞死亡和总死亡系数,以鱼类世代为

线索,从当前向过去和将来推算其资源量,其主要计算公式为:

$$C_i = F_i/Z_i(1 - e^{-Z_i})N_i \dots\dots\dots (1)$$

$$N_{i+1} = N_i e^{-Z_i} \dots\dots\dots (2)$$

$$C_i/N_{i+1} = F_i/Z_i(e^{Z_i} - 1) \dots\dots\dots (3)$$

上述 3 式中, $Z_i = F_i + M$, 式(3)由式(2)代入式(1)所得, 计算时, 先根据绿鳍马面鲈样品的年龄组成及其总渔获量计算出马面鲈历年各年龄组的渔获尾数。然后逆算历史的资源组成情况, 先利用开发率等给历年最大年龄组及当前年各年龄组的捕捞死亡系数一个粗略的估计值, 一般可取 0.5^[3], 在捕捞死亡系数 F 和自然死亡系数 M (假设历年及各年龄组鱼的自然死亡系数都相同) 以及历年各年龄组渔获尾数已知的情况下, 利用公式(1)可计算出历年最大年龄组和当前年各年龄组的资源尾数和资源重量。在此基础上先用公式(3)计算出上一年各年龄组的捕捞死亡系数 F_i [公式(3)中 F_i 的值不能用代数方法求解, 必须用反复试验和误差法求解, 为此, Pope^[4] 提出了计算上一年各年龄组资源尾数的近似公式 $N_i = N_{i+1}e^M + C_i e^{M/2}$, 取消了用公式(3)求算历年各年龄组鱼捕捞死亡系数的过程, 使得手工或使用袖珍计算器进行实际种群分析成为可能]。再用公式(1)计算上一年各年龄组资源尾数 N_i 和资源重量 NW_i 。

用同样的方法可计算出上一年的上一年各年龄组捕捞死亡系数、资源尾数和资源重量, 以此类推, 直到把历年各年龄组捕捞死亡系数、资源尾数、资源重量全部推算出为止。

当需要预测下一年的资源和渔获量情况时, 可根据当前年的资源尾数、总死亡系数, 用公式(2)计算出下一年(预报年份)各年龄组(1 龄鱼除外)的资源尾数 $N_{(i+1,j+1)}$, 预报年份 1 龄鱼的资源量(即补充量)可根据亲鱼数量、环境因子等单独估算, 由于绿鳍马面鲈的补充机制较为复杂, 其补充量与亲鱼量没有明显的相关关系^[5], 因此, 根据经验, 取近 3 年补充量的平均值作为预测年份的补充量。根据下一年各年龄组资源尾数和捕捞死亡系数的估计值, 可计算出下一年份可能的渔获尾数和重量(乘上各年龄组平均体重)。

1.3 评估方法的改进和计算机编程

在多年绿鳍马面鲈的资源评估和产量预报工作中, 我们对实际种群分析法进行了一些探索和改进, 例如, 由于当前计算机运算速度已很快, 我们没有采用 Pope 近似公式, 而是利用公式(3)反复迭代求算历年各年龄组的捕捞死亡系数; 对于历年最大年龄组和当前年各年龄组捕捞死亡系数(即初始值)的估算, 我们没有按照传统的方法, 利用开发率等进行粗略估算, 而是利用反复迭代, 逐步逼近的方法, 在进行首次推算时, 把历年最大年龄组捕捞死亡系数和当前年各年龄组捕捞死亡系数统一赋值为 0.5(或任意值), 在得到首次推算结果后, 把历年成年鱼(这儿取 2 龄鱼以上)捕捞死亡系数 F 的加权平均值作为历年最大年龄组的 F 值(即初始值), 把近几年(这儿取近 3 年)各龄鱼的捕捞死亡系数平均值作为当前年各龄鱼的 F 值(初始值), 再次进行推算, 在得到第二次推算结果后, 以同样的方法进行第三次推算, 以此类推, 进行反复迭代推算, 直到二次推算结果很接近为止(我们取二次推算单个(1976 年最大年龄组) F 值的误差小于 0.0001 时为止), 从而取消了初始值的估算。当以预测 2000 的可能渔获重量作为试验时, 结果表明, 当初始值 F 从 0.1 ~ 10 取不同值, 预测年份的渔获重量与 F 取 0.5 时相比, 误差仅在 0.1% 以下。

计算机编程采用了中文 GWbasic 语言, 所有所需数据按一定的格式用 txt 文件编辑方式编辑成 basic 语言可接受的顺序文件。评估结果可选择打印输出和输出到文件 2 种方式。

进行绿鳍马面鲈资源评估和产量预报的程序是作者所编的渔业资源评估及产量预报系统的一部分, 整个系统分设定参数、输入原始数据、修改或增加数据、计算及打印结果、计算及显示结果(输出到文件)5 个部分(具体程序略)。

作者所编的实用种群分析(VPA)进行鱼类资源评估和产量预报的程序可输出鱼类历年以及预报年份各年龄组的资源尾数、资源重量、渔获尾数、渔获重量和捕捞死亡系数共 5 项数据。在进行绿鳍马面鲈资源评估及产量预报时, 可输出自 1976 年到预报年份绿鳍马面鲈各年龄组的上述 5 项数据。其中

输出的历年各年龄组的渔获尾数并非根据输入的年龄组成百分比换算出,而是根据计算得出的资源尾数和捕捞死亡系数,用公式(1)计算得到,再乘上各年龄组的平均体重,即可得到历年各年龄组鱼的渔获重量,每一年该累计渔获重量与实际捕捞产量是否接近,可以判断出整个评估过程(包括数据输入、公式应用、编程等)是否正确或存在大的错误。

2 结果与分析

2.1 绿鳍马面鲈资源评估及产量预报

以表1和表2的数据为依据,应用改进的实际种群分析法对绿鳍马面鲈1976-1999年的资源情况进行分析,并预测2000年的资源和渔获量情况(表3),为节省篇幅,表3仅列出了1996年以后的评估数据。评估结果表明,以东海区绿鳍马面鲈历年渔获量和年龄组成为依据,评估得出2000年的资源尾数为 662.67×10^6 尾,资源重量为30196吨,若维持1999年的捕捞努力量水平不变,则2000年的可能渔获尾数为 577.73×10^6 尾,渔获重量为26339吨。

从表3可看出,绿鳍马面鲈2000年资源将略好于1999年,但比1996-1998年都差,资源和渔获物的组成仍然以1龄鱼为绝对优势。2龄以上鱼极少。表明资源基础仍较差。

表3 绿鳍马面鲈实际种群分析结果

Tab.3 The result from the virtual population analysis for the *T. septentrionalis*

| 年份 | 项目 | 年 龄 | | | | | | | 合计 | 实际产量 (t) |
|------|-----------------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| 1996 | 资源尾数(10^6 尾) | 846.49 | 109.10 | 31.85 | 16.99 | 15.60 | 0.65 | 0.08 | 1 020.76 | |
| | 资源重量(t) | 38 092.19 | 7746.26 | 4 363.39 | 3 244.46 | 3 603.81 | 182.94 | 31.18 | 57 264.24 | |
| | 渔获尾数(10^6 尾) | 581.69 | 20.91 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 602.65 | |
| | 渔获重量(t) | 26 176.00 | 1 484.64 | 1.37 | 1.91 | 2.31 | 2.83 | 3.90 | 27 672.97 | 27 735 |
| | F | 1.532 | 0.257 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.019 | 0.161 | 1.298 | |
| 1997 | 资源尾数(10^6 尾) | 1 363.32 | 127.44 | 58.77 | 22.17 | 11.82 | 10.86 | 0.44 | 1 594.83 | |
| | 资源重量(t) | 61 349.48 | 9 048.56 | 8 050.90 | 4 235.36 | 2 731.06 | 3 072.70 | 172.36 | 88 660.42 | |
| | 渔获尾数(10^6 尾) | 1 164.84 | 5.15 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 1 170.04 | |
| | 渔获重量(t) | 52 417.99 | 365.51 | 1.37 | 1.91 | 2.31 | 2.83 | 3.90 | 52 795.82 | 52 928 |
| | F | 2.891 | 0.049 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.027 | 2.475 | |
| 1998 | 资源尾数(10^6 尾) | 99.63 | 52.73 | 84.50 | 40.92 | 15.44 | 8.23 | 7.55 | 308.99 | |
| | 资源重量(t) | 4 483.19 | 3 743.86 | 11 576.13 | 7 816.00 | 3 565.75 | 2 328.01 | 2 946.03 | 36 458.97 | |
| | 渔获尾数(10^6 尾) | 88.28 | 50.47 | 81.07 | 39.09 | 14.49 | 4.33 | 7.21 | 284.94 | |
| | 渔获重量(t) | 3 972.57 | 3 583.38 | 11 106.13 | 7 466.80 | 3 346.07 | 1 226.57 | 2 813.50 | 33 515.03 | 33 515 |
| | F | 3.473 | 8.116 | 8.575 | 7.785 | 5.721 | 0.943 | 7.731 | 6.381 | |
| 1999 | 资源尾数(10^6 尾) | 483.42 | 2.15 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 2.23 | 487.87 | |
| | 资源重量(t) | 21 753.95 | 152.86 | 1.50 | 2.12 | 2.74 | 9.97 | 869.85 | 22 792.99 | |
| | 渔获尾数(10^6 尾) | 420.17 | 1.95 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 1.91 | 424.07 | |
| | 渔获重量(t) | 18 907.64 | 138.49 | 1.37 | 1.91 | 2.31 | 2.83 | 744.17 | 19 798.72 | 19 826 |
| | F | 3.131 | 4.020 | 4.221 | 3.832 | 2.734 | 0.407 | 2.907 | 3.133 | |
| 2000 | 资源尾数(10^6 尾) | 648.79 | 14.71 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 663.54 | |
| | 资源重量(t) | 29 195.54 | 1 044.31 | 3.69 | 0.02 | 0.04 | 0.15 | 6.37 | 30 250.13 | |
| | 渔获尾数(10^6 尾) | 563.90 | 13.33 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 577.27 | |
| | 渔获重量(t) | 25 375.56 | 946.13 | 3.36 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 5.45 | 26 330.60 | |
| | F | 3.131 | 4.020 | 4.221 | 3.832 | 2.734 | 0.407 | 2.907 | 3.151 | |

注:2000年合计数为应用实际种群分析预测的2000年的各项值。

2.2 捕捞死亡系数F初始值取不同值对预测结果的影响

以预测2000年绿鳍马面鲈的渔获产量为试验,在其它各项参数都不变的情况下,当历年最大年龄组和当前年各年龄组捕捞死亡系数(即初始值)在0.1~10中取不同值时,预测年份的渔获重量的变化

很小(见表4),说明,采用多次循环反复迭代法后,初始值的取值对预测值的影响已很小。即不用人为地去估算初始值,而由计算机自动赋值,最后由计算机计算得出,简化了评估过程。

表4 捕捞死亡系数F(初始值)取不同值时,预测年份(2000年)渔获重量的变化率(以F=0.5为基准)

Tab.4 Variation of the predicted catch in weight (year 2000) when different start F was used

| F | 0.1 | 0.5 | 0.8 | 1 | 1.5 | 2 | 5 | 10 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 预测渔获重量(t) | 26 341 | 26 339 | 26 332 | 26 340 | 26 336 | 26 328 | 26 345 | 26 364 |
| 变化率(%) | 0.008 | 0.000 | -0.027 | 0.004 | -0.011 | -0.042 | 0.023 | 0.095 |

2.3 预报结果与实际捕捞产量的比较

我们每年在汛前都要进行马面鲈资源评估和渔获量的预报工作,预报结果以书面形式提供给有关渔业生产和管理部门参考,其中可能渔获量的预测是以本文介绍的实际种群分析结果为依据,结合上一年马面鲈生产实际情况、当年监测调查中马面鲈的幼鱼数量等数据而给出,从近年绿鳍马面鲈的预报产量和实际捕捞产量(表5)来看,有些年份预报产量趋势和实际产量相当一致,从渔业生产和管理部门反馈的信息看,预报在他们的生产管理决策有一定的参考作用。

表5 近年绿鳍马面鲈预报产量和实际捕捞产量比较

Tab.5 comparison of the predicted catches and the actual yields

| 年份 | 预测产量($\times 10\ 000$ t) | 实际捕捞产量($\times 10\ 000$ t) |
|------|---------------------------|-----------------------------|
| 1991 | 20.50~23.9 | 12.4 |
| 1992 | 5.80~7.60 | 7.0 |
| 1993 | 6.46~7.48 | 3.2 |
| 1994 | 0.4 | 0.4 |
| 1995 | 0.17~0.26 | 0.6 |
| 1996 | 0.51~0.69 | 2.7 |
| 1997 | 1.20~2.00 | 5.3 |
| 1998 | 2.88~3.71 | 3.4 |
| 1999 | 2.30~2.44 | 2.0 |

3 讨论

Pope^[4]曾证明,用VPA方法对历年各年龄组鱼的捕捞死亡系数F值进行逆算时,F值将逐渐向真实值逼近。即具有一种收敛的效果,从而可估算出比较接近实际的资源及渔获量情况(见表3)。而从当前往后推算将来的资源量时,则没有收敛效果。当采用传统的VPA方法时,由于历年最大年龄组和当前年各年龄组的捕捞死亡系数F值是根据开发率等估计的(例如取0.5),因此,以当前年资源量为基础,推算下一年的资源量和渔获量时,其准确性将依赖于初始F值的估算。当采用本文介绍的改进的VPA方法时,由于上述F的取值与历年成年鱼和近几年各年龄组捕捞死亡系数的平均值有关,即与推算的历年捕捞死亡系数有关。当采用多次反复迭代计算时,F初始值的取值也有一种收敛,即向真实的F逐步靠近的效果,这样当前年资源量也相对较接近实际情况,以此为基础上推算下一年的资源量和渔获量时,从理论上讲,其准确性也将比用传统的VPA方法好。

致谢:近年来,上海海洋渔业发展公司、舟山海洋渔业公司和宁波海洋渔业公司为预报工作不断提供了马面鲈生物学和渔情资料,东海区渔政渔港监督管理局提供了产量统计资料,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 许永明,浦仲生.应用Beverton-Holt数理模式分析马面鲈资源特征和最大可捕量[A].东海绿鳍马面鲈论文集[C],学林出版社,1987,123-135.
- [2] 詹秉义,绿鳍马面鲈资源评析和合理利用[J].水产学报,1986,10(4):409-418.
- [3] Sparre P, Ursin E, Venema S C. Introduction to tropical fish stock assessment Part I -Manual[C]. FAO Fish Techn Pap(306/1). 1989.
- [4] Pope J G. An investigation of the accuracy of virtual population analysis[J]. Int Comm Northwest Atl Fish Res Bull. 1972,9:65-74.
- [5] 郑元甲,陈卫忠,刘松,等.1992年绿鳍马面鲈渔情概况及渔获量波动原因探讨[J].现代渔业信息,1993,8(1):10-12.