

南海北部金线鱼最大可持续产量和总可捕量的研究

吴鸿¹, 吕健¹, 张杰宁¹, 林翠娴¹, 彭颖诗¹, 王自灵¹, 冯波^{1,2,3}

(1. 广东海洋大学水产学院 湛江 524088; 2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江) 湛江 524025;
3. 广东省南海深远海渔业管理与捕捞工程技术研究中心 湛江 524088)

摘要: 限额捕捞试点工作逐步展开, 预示着我国海洋渔业管理进入全面有序的管理时代。文章根据 2008—2017 年南海北部渔港渔业生产抽样调查数据, 统计出南海北部金线鱼的产量主要来自刺网, 占累计总产量的 72.90%。剩余产量模型分析认为南海北部金线鱼的最大可持续产量在 168 632.99~31 0518.85 t, 平均为 251 765.59 t。2017 年实施最严格的休渔制度后, 当年的捕捞努力量投入和渔业产量均未超过最适值, 当前总可捕量可设为 158 515 t。文章研究结果可为该鱼种限额捕捞政策实施提供参考。

关键词: 金线鱼; 剩余产量模型; 最大可持续产量; 总可捕量; 南海北部

中图分类号: P745; S937.3

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2021)01-0085-05

A Study on Maximum Sustainable Yield and Total Allowable Catch of *Nemipterus virgatus* in the Northern South China Sea

WU Hong¹, LYU Jian¹, ZHANG Jiening¹, LIN Cuixian¹,
PENG Yingshi¹, WANG Ziling¹, FENG Bo^{1,2,3}

(1. Fisheries college, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China; 2. Southern marine science and engineering Guangdong laboratory (Zhanjiang), Zhanjiang 524025, China; 3. Guangdong Provincial Far Sea Fisheries Management and Fishing Engineering Technical Research Center, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: With the pilot work of fishing quota, it has indicated that the management of marine fishery has entered an era of comprehensive and orderly management in China. According to the data of sampling survey of fishery production at fishing ports along the northern South China Sea from 2008 to 2017, the production of *Nemipterus virgatus* was mainly from gill net, accounting for 72.90% of the total catch. The maximum sustainable yield of *Nemipterus virgatus* ranged from 168 632.99 to 310 518.85 tons, with an average of 251 765.59 tons inferred by surplus production models. The fishing effort and yield were not above optimum value after implementation

收稿日期: 2020-03-16; 修订日期: 2020-12-22

基金项目: 广东海洋大学大学生创新创业训练计划项目(CXXL2019040); 国家重点研发计划(2018YFD0900906); 南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江)资助项目(ZJW-2019-08)。

作者简介: 吴鸿, 研究方向为渔业资源评估

通信作者: 冯波, 副教授, 博士, 研究方向为海洋渔业开发与保护

of the strictest fishing moratorium in 2017, and the current total allowable catch could be set to 158 515 tons. The results of the study can provide reference for the determination of fishing quota for the species.

Keywords: *Nemipterus virgatus*, Surplus production model, Maximum sustainable yield, Total allowable catch, The northern South China Sea

0 引言

金线鱼 (*Nemipterus virgatus*) 是南海北部五大经济种类之一, 栖息于水深 30~70 m 的海域, 是底拖网、刺网、钓具的主要捕捞对象。鉴于该鱼种的重要性, 其资源利用状况一直备受重视。王雪辉等^[1]用 B-H 动态综合模型评价了该资源的利用状况, 并建立其最适开捕规格。陈国宝等^[2,3]用声学方法评价了金线鱼科的资源储量, 张魁等^[4]用简化产量模型评估了金线鱼类的最大可持续产量 MSY。这些研究尚未对金线鱼的资源量开展评估。本研究将利用连续多年开展的南海渔港渔业生产抽样调查数据, 对南海北部金线鱼的最大可持续产量 (MSY)、总可捕量 (TAC) 进行评估, 为未来南海制定和实施限额捕捞政策提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究数据来源于 2008—2017 年南海渔业生产渔港抽样调查统计资料。采用分层抽样法按功率段对南海的单拖、双拖、拖虾、拖贝、围网、罩网、刺网、钓具、笼壶、张网及杂渔具等渔船的生产数据进行了抽样调查, 抽样统计过程参见陶雅晋等^[5]描述, 整理汇总出了不同作业类型不同功率段的金线鱼的单位捕捞力产量 (CPUE) 和渔获量数据。

1.2 模型方法

剩余产量模型适用于评估数据结构简单的渔业, 本研究拟采用 5 种产量模型^[6]拟合金线鱼捕捞努力和捕捞量时间序列数据:

Schaefer 模型

$$C_t = a E_t - b E_t^2 \tag{1}$$

Fox 模型

$$\ln(U_t) = a - b E_t \tag{2}$$

Schnute 模型

$$\ln\left(\frac{U_{t+1}}{U_t}\right) = a - b\left(\frac{U_t + U_{t+1}}{2}\right) - c\left(\frac{E_t + E_{t+1}}{2}\right) \tag{3}$$

W-H 模型

$$\frac{U_{t+1}}{U_t} - 1 = a - b U_t - c E_t \tag{4}$$

CYP 模型

$$\ln(U_{t+1}) = a + b \ln(U_t) - c(E_t + E_{t+1}) \tag{5}$$

上述诸式中: C_t 为渔获量, U_t 为 CPUE, E_t 为捕捞努力量, U_{t+1} 为次年年份的渔获量, E_{t+1} 为次年年份的捕捞努力量, $\ln(U_t)$ 是 U_t 以常数 e 为底数的对数值, a 、 b 、 c 为模型待估参数。式 (3) 至式 (5) 为式 (1)、式 (2) 的差分形式, 模型参数估算出后亦可改写回式 (1)、式 (2) 的表达形式。

Schaefer 模型的最佳捕捞努力量 E_{MSY} 、MSY、最适产量 (Y_{opt}) 和最适捕捞努力量 (E_{opt})^[7] 分别为:

$$\begin{aligned} E_{\text{MSY}} &= \frac{a}{2b} \\ \text{MSY} &= \frac{a^2}{4b} \\ E_{\text{opt}} &= 0.75 E_{\text{MSY}} \\ Y_{\text{opt}} &= 0.94 \text{MSY} \end{aligned}$$

Fox 模型的最佳捕捞努力量 E_{MSY} 、MSY、最适产量 (Y_{opt}) 和最适捕捞努力量 (E_{opt})^[8] 分别为:

$$\begin{aligned} E_{\text{MSY}} &= \frac{1}{b} \\ \text{MSY} &= \frac{1}{b} e^{a-1} \\ E_{\text{opt}} &= 0.78 E_{\text{MSY}} \\ Y_{\text{opt}} &= 0.97 \text{MSY} \end{aligned}$$

用 5 种产量模型对金线鱼不同作业方式功率段 CPUE 和渔获量时间序列数据进行模拟拟合试验, 选出拟合优度较高的数据与模型组成, 按式 (6)^[6]校验较优产量模型, 比较预测相对残差 (RR)。

$$RR = \left| \frac{C_t - \hat{C}_t}{C_t} \right| \tag{6}$$

式中： $\hat{C}_t$ 为预测渔获量。

TAC 的决策:若 $E_t \leq E_{opt}$ 时, $TAC = Y_{opt}$ 、 $E_{TAC} = E_{opt}$; 若 $E_t > E_{opt}$ 时, 按图解法^[8] 求解 TAC 与 E_{TAC} 。

2 结果

2.1 渔业生产

根据 2008—2017 年南海渔业生产渔港抽样调查资料,南海北部金线鱼 10 年间渔业产量统计如表 1。该鱼种被单拖、双拖、拖虾、刺网、钓具等捕捞,其中以刺网居于主要地位,占累计总产量的 72.90%。刺网 150~101 kW、刺网 100~50 kW 在金线鱼刺网渔业中最具代表性,并且这两个作业功率段都有完整的 CPUE 时间序列数据(图 1),故将之纳入下一步的剩余产量模型分析。

表 1 2008—2017 年不同作业方式不同功率段的金线鱼累计产量及比例

作业方式/功率段	累计产量/t	占比/%
单拖 400 kW 以上	16 433.838 46	1.03
单拖 301~400 kW	40 883.019 05	2.56
单拖 201~300 kW	52 894.946 07	3.32
单拖 100~200 kW	17 295.942 51	1.08
单拖 100 kW 以下	692.683 23	0.04
双拖 400 kW 以上	7 377.361 95	0.46
双拖 301~400 kW	3 244.456 85	0.20
双拖 201~300 kW	4 044.971 84	0.25
双拖 100~200 kW	640.214 13	0.04
拖虾 400 kW 以上	143.632 91	0.01
拖虾 400~301 kW	242.386 77	0.02
拖虾 300~201 kW	382.173 483	0.02
拖虾 200~100 kW	1 632.423 30	0.10
拖虾 100 kW 以下	30.845 12	0.00
刺网 200 kW 以上	103 828.186 70	6.51
刺网 200~151 kW	150 813.267 60	9.46
刺网 150~101 kW	528 688.824 30	33.16
刺网 100~50 kW	313 637.051 9	19.67
刺网 50 kW 以下	65 413.135 88	4.10
钓具 200 kW 以上	68 756.611 89	4.31

续表

作业方式/功率段	累计产量/t	占比/%
钓具 200~151 kW	18 667.670 05	1.17
钓具 150~101 kW	55 147.013 40	3.46
钓具 100~50 kW	98 789.422 2	6.20
钓具 50 kW 以下	44 371.565 78	2.78
其他	542.409 40	0.03

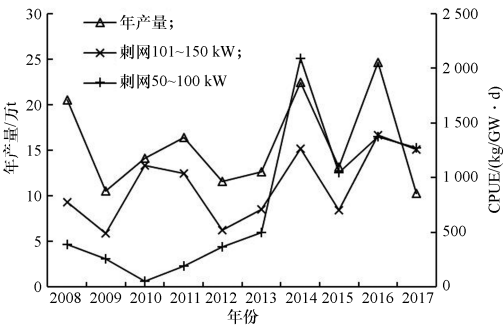


图 1 两个刺网作业功率段的 CPUE(kg/GW·d)与总产量的时间序列

2.2 模型拟合

5 个剩余产量模型拟合两个 CPUE 数据的效果如表 2。在 5 种产量模型中,Schaefer 模型的整体拟合优度最好,CYP 模型次之,再次为 Fox 模型、W-H 模型,最后是 Schnute 模型。两个 CPUE 数据中,刺网 150~101 kW 功率段 CPUE 数据的整体模型拟合表现更好,该数据由 Schaefer 模型拟合结果是所有表 3 中最优的。从模型拟合显著性来看,Schaefer 模型拟合的显著性最好,CYP 模型次之,再次为 Fox 模型、W-H 模型,最后是 Schnute 模型。统计显著性($P<0.05$)达到要求的有 5 个,它们分别是模型 I 由刺网 101~150 kW 功率段 CPUE 数据拟合的 Schaefer 模型、模型 II 由刺网 101~150 kW 功率段 CPUE 数据拟合的 CYP 模型、模型 III 由刺网 50~100 kW 功率段 CPUE 数据拟合的 Schaefer 模型、模型 IV 由刺网 50~100 kW 功率段 CPUE 数据拟合的 Fox 模型、模型 V 由刺网 50~100 kW 功率段 CPUE 数据拟合的 CYP 模型。故用这 5 个模型推测下一步的金线鱼种群管理参数。

表 2 不同 CPUE 数据的模型拟合优度与显著性

CPUE 数据		刺网		平均 R^2
		150~101 kW	100~50 kW	
Schaefer 模型	R^2	0.918 ^I	0.683 ^{III}	0.801
	P 值	0.000	0.010	
Fox 模型	R^2	0.392	0.731 ^{IV}	0.561
	P 值	0.053	0.002	
Schnute 模型	R^2	0.075	0.005	0.040
	P 值	0.791	0.984	
W-H 模型	R^2	0.605	0.261	0.433
	P 值	0.062	0.403	
CYP 模型	R^2	0.683 ^{II}	0.718 ^V	0.701
	P 值	0.032	0.022	
	平均 R^2	0.535	0.480	

注:表 2 中的罗马数字(I、II、III、IV、V)标记了被选中的具有统计显著性($P<0.05$)的模型。

2.3 种群管理参数

表 2 中选出的 5 个具有统计显著性的剩余产量模型,其剩余产量模型表达式及种群管理参数

表 3 不同模型表达式与 RR 检验

模型	表达式	$E_{MSY}/$ GW·d	$E_{opt}/$ GW·d	MSY/t	Y_{opt}/t	平均 RR
I	$\hat{C}_t = 1\,591.824E_t - 3.757E_t^2$	211.87	158.91	168 632.99	158 515.01	0.250
II	$\hat{C}_t = E_t e^{(8.125-0.003\,87E_t)}$	258.58	201.69	321 219.07	311 582.50	1.017
III	$\hat{C}_t = 443.017E_t - 0.158E_t^2$	1 401.84/1 141.90 *	1 051.38/856.43 *	310 518.85	291 887.72	0.423
IV	$\hat{C}_t = E_t e^{(6.879-0.001\,29E_t)}$	772.89/629.58 *	602.86/491.07 *	276 144.92	267 860.58	0.519
V	$\hat{C}_t = E_t e^{(7.120-0.000\,191E_t)}$	5 232.91	4 081.67	2 380 586.60	2 309 169.00	2.653

* 表中 E_{MSY} 、 E_{opt} 模型 III、IV 各有两个数值,第一个是模型直接输出值,第二个是按 CPUE 均值的效能比,将刺网 100~50 kW 的 E_{MSY} 、 E_{opt} 折算到刺网 100~50 kW 的对应数值。

表 4 不同模型推断出的 TAC 管理目标

模型	E_{2017}	$E_t \leq E_{opt}$	TAC_i/t	$E_{TAC}/MkW \cdot d$
I	81.99	YES	158 515.01	158.91
III	81.02	YES	291 887.72	1 051.38
IV	81.02	YES	267 860.58	602.86

3 讨论

3.1 资源利用评价

金线鱼是南海北部海区重要的渔获对象,其资

计算结果如表 3。其中模型 II、V 的平均 RR 过大,其种群管理参数可靠性较差。模型 I、III、IV 的平均 RR 较小,其种群管理参数具有参考价值。根据这 3 个模型可知, E_{MSY} 在 211.87~1 141.09 GW·d 间变化,平均为 676.89 GW·d; E_{opt} 在 158.91~856.43 GW·d 间变化,平均为 507.67 GW·d;MSY 在 168 632.99~310 518.85 t 间变化,平均为 251 765.59 t。 Y_{opt} 在 158 515.01~291 887.72 t 间变化,平均为 239 421.10 t。

模型 I、模型 III、模型 IV 的 TAC 由 2017 年各作业类型不同功率段的捕捞努力量 E_{2017} 推断出各自的 TAC,如表 4。3 个模型的 E_{2017} 均低于 E_{opt} ,TAC 即是 Y_{opt} ;若将模型 III、模型 IV 的 E_{TAC} 折算成模型 V 下捕捞努力量分别为 856.43 GW·d、491.07 GW·d 均超过模型 I 设定的 E_{opt} ,因此保守地取值,当前金线鱼的 TAC 宜采用模型 I 的规划结果 158 515 t。

源状况历来备受重视。底拖网调查发现^[9-12]:南海北部大陆架的金线鱼渔获密度 1988—1989 年较 1964—1965 年下降了 14%,其资源开发率在 20 世纪 60 年代就达到 0.65,在 1997—1999 年为 0.67,在 2006—2007 年下降为 0.52;北部湾的金线鱼底拖网渔获比例 1989—1992 年较 1957—1959 年下降了 12%~15%,渔获密度 1998 年又较 1962 年下降了 64%。其资源开发率从 1960 年的 0.34 增加到 1992 年的 0.61,到 2009 年的最高值为 0.74,然后

在 2012 年又明显下降到 0.53。

根据南海渔港渔业生产抽样调查统计,南海北部的金线鱼被多种渔具捕捞,目前主要被刺网捕捞。按 Kobe 图定义,当 $F/F_{MSY} > 1$,种群处于正在过度捕捞(Overfishing);当 $B/B_{MSY} < 1$,种群处于已经过度捕捞(Overfished)。两种情况同时发生时,种群生存受到威胁。由模型 I Kobe 图分析可知,2008—2017 年有 5 年发生了过度捕捞,其中 2008 年、2009 年和 2012 年情况较为严重。2017 年实施最严格的休渔制度后,捕捞努力量投入和渔业产量分别为最适值的 51.60%和 65.06%,资源状况有所好转(图 2)。

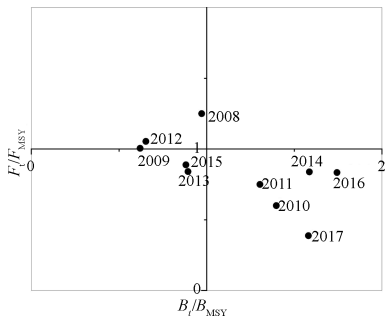


图 2 模型 I Kobe 图分析

3.2 渔业管理建议

为了保护金线鱼资源,提高经济效益,王雪辉等^[1]建议将南海北部陆架区金线鱼的开捕年龄定为 1.8 龄,即开捕体长为 16.5 cm;建立金线鱼幼鱼保护区,在每年的 9—11 月实施保护。他们^[13]还指出 2012 年以来金线鱼的捕捞压力虽有所缓和,但是为了维持金线鱼渔业的可持续发展,仍必须限制生产渔船投入数量。2017 年起随着限额捕捞试点工作逐步开展,张魁等^[4]提出了金线鱼类在限额捕捞执行初期的 TAC 参考值为 27.1 万~30.5 万 t,但该研究的评估对象并非仅针对金线鱼。本研究评估得到当前南海北部的金线鱼 TAC 可设定为 158 515 t。建议按主要作业渔具和功率段将 TAC 分配给南海 3 省区的渔业生产船。

参考文献

[1] 王雪辉,邱永松,杜飞雁.南海北部金线鱼生长、死亡和最适开捕体长研究[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2004(2):224—230.

[2] 陈国宝,李永振,赵宪勇,等.南海 5 类重要经济鱼类资源声学评估[J].海洋学报(中文版),2006(2):128—134.

[3] 陈国宝,李永振,赵宪勇,等.南海北部海域重要经济鱼类资源声学评估[J].中国水产科学,2005(4):445—451.

[4] 张魁,廖宝超,许友伟,等.基于渔业统计数据的南海区渔业资源可捕量评估[J].海洋学报,2017,39(8):25—33.

[5] 陶雅晋,易木荣,李波,等.基于渔港抽样调查南海不同捕捞方式 CPUE 比较分析[J].渔业科学进展,2019,40(3):1—10.

[6] JOHN S K, MARLINE S P, WINSYCH D W, et al. Determination of the status of utilization and management Scenarios Bonito (*Auxis rochei*) Caught in the Talaud waters North Sulawesi[J]. Science Journal of Applied Mathematics and Statistics, 2015, 3(2): 39—46.

[7] JENSEN A L. Maximum harvest of a fish population that has the smallest impact on population biomass[J]. Fisheries Research, 2002, 57(1): 89—91.

[8] 詹秉义.渔业资源评估[M].北京:中国农业出版社,1993:326—347.

[9] 王跃中,袁蔚文.南海北部底拖网渔业资源的数量变动[J].南方水产,2008(2):26—33.

[10] 宣立强.基于 B—H 模型的多鱼种资源评估[J].海洋湖沼通报,2004(2):45—51.

[11] 耿平.北部湾典型鱼类种群生长、死亡及开发状态的年际变化研究[D].上海:上海海洋大学,2019.

[12] 袁蔚文.北部湾底层渔业资源的数量变动和种类更替[J].中国水产科学,1995(2):57—65.

[13] WANG X, QIU Y, DU F, et al. Population parameters and dynamic pool models of commercial fishes in the Beibu Gulf, northern South China Sea[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2012, 30(1): 105—117.