

文章编号:1674-7054(2010)04-0362-05

基于体长的北部湾带鱼单位补充量亲体量研究

冯波^{1,2}, 侯刚^{1,2}, 王学锋^{1,2}

(1. 广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524025; 2. 南海渔业资源评估与监测中心, 广东 湛江 524025)

摘要: 根据当前捕捞死亡系数, 运用2种基于体长的B-H式单位补充量亲体量模型(Spawning biomass per recruit, SBR), 评估了北部湾的带鱼资源状况。当前北部湾带鱼的SBR为42.07 g, 相当于初始亲体量的4.82%, 表明现阶段北部湾的带鱼资源处于过度利用状态, 以捕捞低龄鱼为主。放大大开捕体长和降低捕捞强度是恢复亲体资源量的有效手段。

关键词: 单位补充量亲体量; 带鱼; 北部湾; 体长

中图分类号: S 931 **文献标志码:** A

带鱼(*Trichiurus lepturus*)是我国海洋渔业中重要的经济鱼类。南海的带鱼虽有过一些生物学研究的报道^[1-2], 但资源的利用状况报道却不如东海的带鱼多^[3-6], 仅见朱江锋等^[7]利用单位补充量渔获量(Yield per recruit, YPR)模型评价了南海北部3种带鱼的渔业开发状况, 未涉及北部湾的带鱼。据调查^[8], 北部湾2006、2007年的带鱼产量分别达到95 279 t和7 2911 t, 主要为拖网(21.80%)、围网(44.45%)和刺网(33.75%)捕捞, 而它的资源利用状况却未知。由于YPR模型仅从渔业生产角度考虑, 而未从维持种群健康繁衍的产卵群体出发, 致使评估结果存在偏差。因此, 笔者应用2种基于体长的SBR模型(Spawning biomass per recruit, SBR)评价了北部湾带鱼的资源现状, 以期为北部湾带鱼资源的养护提供参考意见。

1 材料与方法

于2007年4月至2010年3月在广西北海(北部湾北部海域)和海南东方(北部湾南部海域)按季节进行了12次采样, 采样带鱼均来自北部湾划界后中国侧海域, 采样海区如图1。每次采样时对鱼种进行鉴定, 保证都属带鱼, 3年共计采得1 168尾带鱼, 测量了肛长、体质量等生物学参数。渔获物采样肛长频率分布如图2。

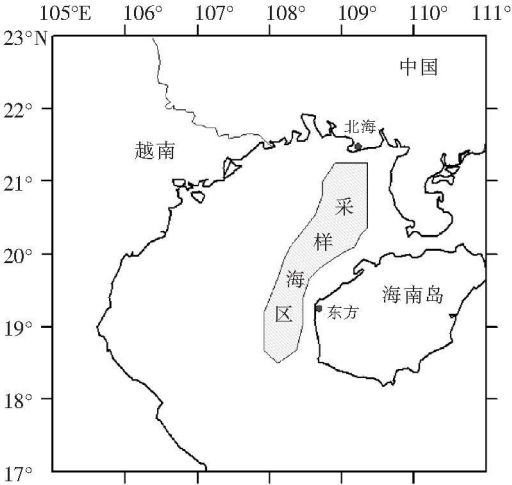


图1 带鱼采样海区

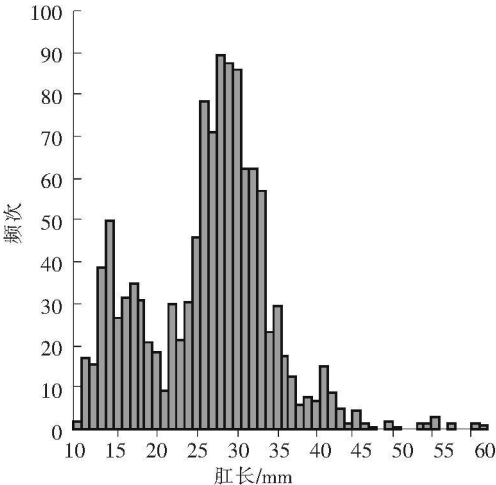


图2 采样带鱼肛长频次分布

收稿日期: 2010-09-13
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30771653); 广东海洋大学校选课题(1012107)
作者简介: 冯波(1977-), 男, 江苏宜兴人, 广东海洋大学水产学院讲师。

使用基于年龄的 B - H 式的 SBR 模型公式^[9]可写成:

$$SBR = S_R W_{\infty} \exp[-M(t_f - t_r) - F(t_f - t_c)] \left[\sum_{n=0}^3 U_n \exp[-nK(t_f - t_0)] / (Z + nK) \right], \quad (1)$$

式中, W_{∞} , K , t_0 是 VBGF 参数, U_n 被 VBGF 使用的整常数, R 是 t_r 时的补充数量。 S_R , W_{∞} , K , t_0 , M , t_r , t_f 是基于年龄的种群特征, F 和 t_c 是开发模式。在公式(1) 中, $n = 0, 1, 2, 3$ 。 $U_0 = +1$, $U_1 = -3$, $U_2 = +3$, $U_3 = -1$ 。

若使用基于体长的模式, 前述的假设和分模型仍然有效, 不过是与年龄相关的特征被与体长相关的特征代替, 即以补充体长(L_r)、开捕体长(L_c) 和初次性成熟体长(L_f) 以及体长组代替 t_r , t_c , t_f 和年龄组。 R 是体长 L_r 时的补充量。

VBGE 改成体长模式以如下形式替换:

$$\begin{aligned} \exp[-K(t_f - t_0)] &\text{ 由 } 1 - L_f/L_{\infty} = 1 - f \text{ 代替;} \\ \exp[-M(t_f - t_r)] &\text{ 由 } [(L_{\infty} - L_f)/(L_{\infty} - L_r)]^{M/K} = A \text{ 代替;} \\ \exp[-F(t_f - t_c)] &\text{ 由 } [(L_{\infty} - L_f)/(L_{\infty} - L_c)]^{F/K} = B \text{ 代替;} \end{aligned}$$

则, 公式(1) 可写成^[10]

$$SBR = S_R W_{\infty} AB \left[\sum_{n=0}^3 U_n (1 - f)^n / (Z + nK) \right], \quad (2)$$

公式(2) 中, f 为初次性成熟时的相对体长。将 M/K 引入 A , 将 F/K 引入 B , 可以计算 SBR 的绝对值。

若将 Z/K 引入公式(2), 又可写成^[10]

$$SBR = (S_R/K) W_{\infty} AB \left[\sum_{n=0}^3 U_n (1 - f)^n / (Z/K + n) \right]. \quad (3)$$

基于体长的 B - H 式相对 SBR 模型 SBR' , 改造自于公式(1), 估计了 SBR 的指数。其代数运算可表示成^[6]

$$\begin{aligned} SBR' &= (SBR \times W_{\infty}) \exp[-M(t_r - t_0) - F(t_c - t_0)], \\ \text{等价于 } SBR' &= S_R (1 - f)^{Z/K} \left[\sum_{n=0}^3 U_n (1 - f)^n / (Z + nK) \right], \end{aligned} \quad (4)$$

公式(4) 中括号内除以 K , 括号外乘以 K , 改写成^[6]

$$SBR' = (S_R/K) (1 - f)^{Z/K} \left[\sum_{n=0}^3 U_n (1 - f)^n / (Z/K + n) \right], \quad (5)$$

$$SBR' = (S_R/Z) (1 - f)^{Z/K} \left[\sum_{n=0}^3 U_n (1 - f)^n / (1 + nK/Z) \right], \quad (6)$$

公式(4) ~ (6) 相互等价, 它们给出相同 SBR 指数。 SBR' 是一个无量纲数, 但能转化成质量单位, 乘以 $W_{\infty} \exp[M(t_r - t_0) + F(t_c - t_0)]$ 质量单位, 等于 $W_{\infty} (1 - r)^{-M/K} (1 - c)^{-F/K}$ 质量单位。式中 $r = L_r/L_{\infty}$ (相对补充体长); $c = L_c/L_{\infty}$ (相对开捕体长)。1 - f 取决于 Z/K , 由于 $Z = F + M$, 所以 SBR' 是关于 F 的函数。

基于体长的北部湾带鱼单位补充量亲体量模型的主要参数, 根据体长频率数据采用 ELEFAN 技术估计, 如表 1。 SBR 和 SBR' 作为 F 的函数分析, M 和 L_c 保持不变。 F 从 0 ~ 2 间变化, 步长 0.1, $F = 0$ 时的 SBR 称为初始亲体量, 再根据当前的捕捞死亡系数推断带鱼的资源状况。

表 1 模型输入参数

参数	数值	参数	数值
L_{∞} / mm	603.148	S_R	0.588
W_{∞} / g	2 256.87	L_r / mm	100
K	0.427	L_c / mm	140
M	0.427	L_f / mm	282.60

2 结 果

2.1 模型表达 在平衡条件下, 基于体长的北部湾带鱼单位补充量亲体量, 可以表达成关于 F 的函数式:

$$SBR(F) = 845.44 \times (0.69)^{F/0.43} \times [1/(F + 0.43) - 1.59/(F + 0.85) + 0.85/(F + 1.28) - 0.15/(F + 1.71)], \quad (2)$$

$$SBR(F) = 1\,979.95 \times (0.69)^{F/0.43} \times [0.43/(F + 0.43) - 0.68/(F + 0.85) + 0.36/(F + 1.28) - 0.064/(F + 1.71)], \quad (3)$$

$$SBR'(F) = 0.59 \times (0.53)^{(F+0.43)/0.43} \times [1/(F + 0.43) - 1.59/(F + 0.85) + 0.85/(F + 1.28) - 0.15/(F + 1.71)], \quad (4)$$

$$SBR'(F) = 1.38 \times (0.53)^{(F+0.43)/0.43} \times [0.43/(F + 0.43) - 0.68/(F + 0.85) + 0.36/(F + 1.28) - 0.064/(F + 1.71)],$$

(5)

$$SBR'(F) = [0.59/(F + 0.43)] \times (0.53)^{(F+0.43)/0.43} \times [1 - 1.59(F + 0.43)/(F + 0.85) + 0.85(F + 0.43)/(F + 1.28) - 0.15(F + 0.43)/(F + 1.71)].$$

(6)

以上模型的输出结果见表 2。虽然这些模型在数学意义上是等价的,但计算结果有些差异,这是由于保留小数点后有效数字造成的。 SBR 和 SBR' 之间转换时相差一个质量单位 $W_{\infty}(1-r)^{-M/K}(1-c)^{-F/K}$,即 $2\,705.42(0.78)^{-F/0.43}$ g。

模型(2)和(4)以相对于初始亲体量的百分比表示(如图 3)。随着捕捞死亡系数增加, SBR 和 SBR' 都呈指数衰减趋势。当 $F > 0$ 时, SBR' 均小于 SBR 。两者的差距可以用函数 $g(F)$ 确定:

$$g(F) = 100 \times [SBR(F)/SBR(F = 0) - SBR'(F)/SBR'(F = 0)].$$

当 $F = 0$ 时, $g(F) = 0$ 。就北部湾带鱼而言,上式可改写成:

$$g(F) = 100 \times [SBR(F)/871.933 - SBR'(F)/0.322\,5].$$

当 $F = 0.30$ 时, $g(F)$ 取得最大值,当 $F > 0.30$ 时,两者的差距缩小。

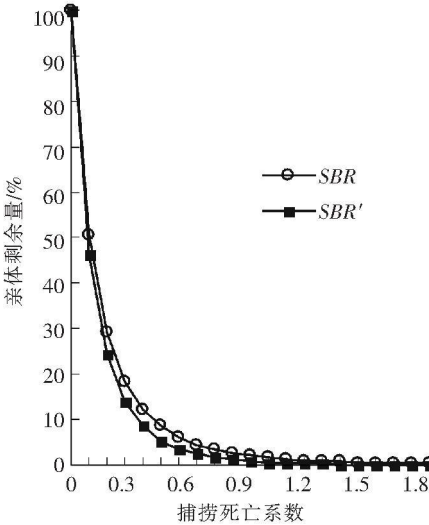


图 3 不同捕捞死亡系数下的亲体剩余量比例

表 2 不同模型在 F 值变化时的输出值

捕捞死亡系数	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6
0	871.933	878.748	0.322 50	0.324 61	0.322 50
0.1	578.693	583.094	0.201 30	0.202 58	0.201 30
0.2	404.663	407.621	0.132 39	0.133 19	0.132 39
0.3	294.066	296.109	0.090 48	0.091 00	0.090 48
0.4	220.114	221.552	0.063 70	0.064 03	0.063 70
0.5	168.672	169.699	0.045 91	0.046 13	0.045 91
0.6	131.740	132.480	0.033 72	0.033 87	0.033 72
0.7	104.530	105.066	0.025 16	0.025 26	0.025 16
0.8	84.045	84.434	0.019 03	0.019 09	0.019 03
0.9	68.340	68.622	0.014 55	0.014 59	0.014 55
1.0	56.109	56.313	0.011 24	0.011 26	0.011 24
1.1	46.456	46.602	0.008 75	0.008 77	0.008 75
1.2	38.746	38.849	0.006 86	0.006 87	0.006 86
1.3	32.525	32.596	0.005 42	0.005 42	0.005 42
1.4	27.459	27.506	0.004 30	0.004 30	0.004 30
1.5	23.301	23.330	0.003 43	0.003 43	0.003 43
1.6	19.863	19.879	0.002 75	0.002 75	0.002 75
1.7	17.002	17.008	0.002 22	0.002 21	0.002 22
1.8	14.607	14.606	0.001 79	0.001 79	0.001 79
1.9	12.592	12.586	0.001 45	0.001 45	0.001 45
2.0	10.888	10.878	0.001 18	0.001 18	0.001 18

2.2 资源评估 根据采样结果,利用渔获量变换曲线法估算得 2007—2009 年的 Z 和 F 值(见表 3)。

表 3 2007—2009 年带鱼的总死亡系数和捕捞死亡系数

年份	总死亡系数 Z	捕捞死亡系数 F	SBR/g
2007	1.560	1.133	47.325
2008	1.517	1.090	43.722
2009	1.682	1.255	35.164

当前的 *SBR* 平均为 42.07 g, 相当于初始亲体量的 4.82%, 远低于防止补充性过度捕捞的限制参考点 20% 的标准, 表明现阶段北部湾的带鱼资源处于过度利用状态。2007—2009 年的捕捞死亡系数仍然偏高, 若维持当前的开捕体长, 需将相关捕捞努力量削减 57.99%, 才能达到维护产卵亲体量安全的最低要求。但比 20 世纪 90 年代末期的未实施休渔期(如按当时的捕捞死亡系数 2.63 计算^[3]), 其剩余亲体量仍然增加了 8 倍, 在很大程度上缓解了资源过度利用的状况。

3 讨论

3.1 模型的适用性 基于体长的单位补充量亲体量模型非常适合于热带和亚热带鱼类的资源评估。因为一般情况下很难获得年龄结构数据。需要注意的是模型(4)~(6)中包含的参数比模型(2)、(3)少。它们不仅提供了适当的信息评价控制捕捞努力量或者网目大小对 *SBR* 或 *SBR'* 变动的影响, 而且从理论上也证明了它们的适用性。由单位补充量模型定义出的不同开发模式可运用于不同的种群演化分析, 同时还可比较同一种群内的 *SBR* 或 *SBR'* 差异, 或者是不同群体却具有相似的种群参数特征的情况, 但无需考虑捕捞技术的不同。

3.2 模型的局限性 基于体长的单位补充量亲体量模型的主要问题是它们的适用性和输出结果的可靠性。虽然模型运用具有很大的弹性空间, 但模型还不能完全满足生物学和生产开发的要求。因为它们还依赖于限制性的前提假设和基本的分模型, 例如在实践中:

- 1) 平衡的条件和鱼群的均匀分布的条件很难满足;
- 2) 孵化期可能延长到几个月, 在热带海域尤其明显;
- 3) 补充和渔具选择性曲线不一定是“刀刃型”, 很多是渐进的, 形状不一, 如 S 型或正态曲线;
- 4) VBGF 生长方程可能是非匀速的或者受到季节变动的影响, 生长曲线还可能被其他函数描述;
- 5) 死亡系数和性比不仅和体长、年龄有关, 还受到可捕性、捕捞能力或鱼价的影响。

虽然基于体长的单位补充量亲体量模型对很多鱼类种群评估不合适, 但这并不妨碍作出假设, 对已有的数据进行分析。尤其当缺乏独立的渔业数据的亲体量估计、年龄或体长组的渔获量数据, “有胜总于无”, 这类模型可用于初步评估。常规条件下, 正确地评估亲体量, 要求使用时间离散模型, 因为它们与种群和渔业开发的特征较一致。例如, 这些模型可以考虑年龄捕捞死亡系数和自然死亡系数的变动, 无需对体长体重关系或连续年份中体长增加的恒常性作假设, 能够评价不同开发模式对包括亲体量在内的种群特征的影响。

3.3 管理启示 首次对北部湾带鱼的单位补充量亲体量进行了评估, 2007—2009 三年间的评估结果认为, 当前北部湾的带鱼处于过度捕捞状态, 以捕捞低龄鱼为主, 但比休渔制度实施以前, 亲体资源量仍有一定的改善。当前, 北部湾带鱼的捕捞死亡系数较高, 但处境略微好于东海带鱼。东海带鱼的捕捞死亡系数高达 2.60, 开捕年龄为 0.5 a, *SBR* 剩余量低于 10%, 处于高危险区的较高危险点上^[5]。2000—2002 年的调查发现, 东海南部福建海区的带鱼资源也处于衰退之中, 平均体重不及 1975—1977 年大规模开发期间的 1/3^[11]。南海和东海的带鱼问题都表现在开捕体长过短。朱江锋等^[7]认为应使所有性成熟个体至少有一次生殖机会, 因此, 他建议南海的带鱼从 3 龄开捕, 这将使 *SBR* 恢复到初始资源量的 40% 以上, 显著地改善资源保护的效果。如果将囊网网目尺寸放大到 6 cm^[12] (1 龄), 可使 *SBR* 恢复到 18.38%, 增加近 3 倍。由于带鱼产卵场分布于近海沿岸, 如在产卵期近岸张网捕捞可捞到大量的带鱼幼鱼^[8], 因此, 应限制近海沿岸捕捞强度, 严格执行禁渔区、禁渔期制度, 才能有效地保护产卵亲体, 使资源利用更加趋于合理。

参考文献:

- [1] 王可玲, 刘兰英, 尤锋, 等. 南海带鱼遗传变异及其分类的研究[J]. 海洋科学, 1992, 2: 69—72.
- [2] 曾炳光. 南海区渔业资源调查和区划[M]. 广州: 广东科技出版社, 1989: 127—128.

- [3] 曹少鹏,刘群. 把不确定性引入生物学参考点 $F_{0.1}$ 和 F_{max} 的估计以评估东海带鱼渔业资源[J]. 南方水产, 2007, 3(2):42-48.
- [4] 徐汉祥,刘子潘,许源剑. 带鱼资源动态综述及管理现状分析[J]. 浙江水产学院学报,1997,16(3):219-225.
- [5] 凌建忠,严利平,林龙山,等. 东海带鱼繁殖力及其资源的合理利用[J]. 中国水产科学, 2005,12(6):726-730.
- [6] 严利平,胡芬,李圣法,等. 东海区带鱼伏季休渔效果及其资源的合理利用[J]. 自然资源学报,2007,22(4):606-612.
- [7] 朱江峰,邱永松. 南海北部带鱼生长死亡与参数动态综合模式[J]. 海洋学报, 2005,27(6):93-99.
- [8] 卢伙胜. 北部湾渔业资源监测与评估报告(2006—2007 年度)[R]. 湛江:广东海洋大学, 2008 :1-214.
- [9] GULLAND J A . The effects of fishing on the production and catch[A]. In S. D Gerking(ed.) The biological basis of freshwater fish production[C] Oxford and Edinburgh;Blackwell Scientific Publication 1967;399-415.
- [10] MUNYANDIEREO J. Length-based beverton and holt spawning stock biomass per recruit models, with application to the *Lates stappersii*(Boulenger) stock in Lake Tanganyika[J]. Fisheries Management and Ecology, 2001(8):1-14.
- [11] 颜尤明. 福建海区带鱼生物学特征与资源变化的研究[J]. 南方水产, 2003, 1(3):32-36.
- [12] AOYAMA T. The demersal fish stocks and fisheries of the South China Sea[J]. UNDP and FAO,SCS/DEV,1973,3;1-80.

Research on Length-based Yield Per Recruit and Spawning-biomass Per Rrecruit of *Trichiurus lepturus* in Beibu Gulf

FENG Bo^{1,2}, HOU Gang^{1,2}, WANG Xue-feng^{1,2}

(1. Fisheries college, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China;

2. Fisheries resource monitoring and assessment center for South China Sea,Zhanjiang 524025, China)

Abstract: Two kinds of length based Beverton and Holt spawning biomass per recruit(SBR) models were used to evaluate the *Trichiurus lepturus* stock in Beibu Gulf according to current fishing mortality. The data indicated that the absolute value of SBR was 42.07 g, which was about 4.82% of that of the initial stock under the equilibrium condition, and this level suggested that it was recruitment overfishing and the majority of catch was young fish. Enlarging length at first capture and decreasing fishing mortality were effective means to rebuild the spawner biomass.

Key words: spawning stock biomass per recruit models; *Trichiurus lepturus*; Beibu Gulf; length