

文章编号: 1674-5566(2009)04-0460-06

# 基于体重的北部湾红鳍笛鲷单位补充量 渔获量与亲体生物量的研究

冯 波, 陈文河, 颜云榕

(广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524025)

**摘 要:** 阐述了北部湾红鳍笛鲷的资源状况, 对基于体重的单位补充量渔获量和亲体生物量进行了分析。在当前开捕体重为 0.5 kg 的条件下, 现阶段的捕捞死亡系数为 0.72, 未超过  $F_{max}$  水平, 单位补充量剩余亲体量是未开发状态的 28%, 因此资源群体既未出现生长型过度捕捞, 也未出现补充过度捕捞。建议在不改变开捕体重的情况下, 将目前的捕捞死亡系数减少到 0.42, 相应地单位补充量亲体生物量约增加 1.4 倍, 亲体剩余量恢复到国际上建议的鱼类种群健康利用 40% 水平, 而平衡条件下的单位补充量渔获量仅减少 6%, 未对渔业生产形成不利影响。

**关键词:** 红鳍笛鲷; 单位补充量渔获量; 单位补充量亲体生物量; 北部湾

**中图分类号:** S932 **文献标识码:** A

## A research on weight-based yield per recruit and spawning biomass per recruit of *Lutjanus erythropterus* in Beibu Gulf

FENG Bo, CHEN Wen-he, YAN Yun-rong

(Fishery College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China)

**Abstract:** The present study assessed the stock status of *Lutjanus erythropterus* in Beibu Gulf. Weight-based Yield Per Recruit (YPR) and Spawning Biomass Per Recruit (SPR) analyses were used for this assessment. Current fishing mortality is 0.72, lower than  $F_{max}$ , and SPR is 28% of unexploited level with 0.5 kg weight at first capture. Therefore, neither growth over fishing nor recruitment over fishing happened. SPR will increase to 1.4 times that of at present and recover to sustainable level 40% suggested by international recommendation, while YPR will only decrease by 6% if fishing mortality is decreased to 0.42.

**Key words:** *Lutjanus erythropterus*; yield per recruit; spawning biomass per recruit; Beibu Gulf

红鳍笛鲷 (*Lutjanus erythropterus*) 是北部湾渔业中重要的经济鱼类, 栖息水深为 17~124 m。目前主要为刺网、围网和延绳钓捕捞, 20 世纪 50 年代的产量在 5 000 以上<sup>[1]</sup>, 2006、2007 年渔港抽样统计产量分别为 3 866 和 3 541 t<sup>[2]</sup>。关于红鳍笛鲷的生长、繁殖、摄食特性已有过报道<sup>[3-4]</sup>, 但关于该种类的资源评估和渔业管理还未见报道。单位补充量渔获量 (Yield Per Recruit, YPR) 和单位补充量亲体量

收稿日期: 2008-09-05

基金项目: 国家自然科学基金 (30771653); 农业部北部湾渔业资源调查与监测 (0509109, 0704152)

作者简介: 冯 波 (1977-), 男, 江苏宜兴人, 讲师, 从事海洋渔业资源开发与保护的教学和研究。E-mail: fengb@gdou.edu.cn

©1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(Spawner biomass per recruit SPR)模型是常见的评估模型,广泛地被应用于渔业历史数据缺乏的资源评估中<sup>[5]</sup>。然而传统的单位补充量模型未考虑个体之间的生长差异,可能导致评估结果出现偏差<sup>[6]</sup>。Ueda和Matsushita<sup>[7]</sup>最先构建了基于体重的单位补充量模型的评估方法,并对北海道沿海的太平洋鳕(*Gadus macrocephalus*)进行了评估,指出了该鱼种出现了过度捕捞,应放大开捕体长。目前其他类似的应用研究仍然少见,因此本文根据渔港采样调查资料,利用基于体重的YPR和SPR模型评价北部湾红鳍笛鲷的资源利用状况,并提出相应的管理建议,为可持续利用该资源提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 生长曲线

根据卢伙胜<sup>[2]</sup>、Newman等<sup>[8]</sup>的研究结果,分别用鳞片与耳石分析了红鳍笛鲷的生长特性,得出了近似的生长曲线,其von Bertalanffy生长方程参数:

$$L = 856.4 [1 - e^{-0.4988(t-0.743)}] \quad (1)$$

式中, $L$ 是龄(年)时的体长,体长单位为mm。

从公式(1),可得 $L$ 和 $L_{t+1}$ 的关系为

$$L_{t+1} = 0.6073 L + 336.3 \quad (2)$$

体长与体重关系引用了卢伙胜<sup>[2]</sup>的研究结果:

$$W = 3.5213 \times 10^{-4} L^{2.5709} \quad (3)$$

式中: $W$ 为体重,单位为g。

由公式(2)和(3)可得:

$$W_{t+1} = 3.5213 \times 10^{-4} \left[ 0.6073 \left( \frac{W_t}{3.5213 \times 10^{-4}} \right)^{\frac{1}{2.5709}} + 336.3 \right]^{2.5709} \quad (4)$$

### 1.2 体重生长概率

传统的单位补充量模型,假设一个世代中所有的个体具有相同的生长速率,而实际上个体之间生长存在着显著的差异,这些情况应该被考虑进模型。这里定义体重生长概率 $P_k^f$ 为一尾鱼在前一年中从体重组 $k$ 生长到从体重组 $k$ 的概率<sup>[7]</sup>。使用体重生长概率在计算YPR和SPR时可以考虑个体生长的差异。假设体重组 $k$ 的个体重量为 $w_k$ ,是体重组 $k$ 的中值。这里定义 $w_k'$ 为下一年体重组 $k$ 的平均个体转移体重。 $w_k'$ 由公式(4)推导而来,分别以 $w_k, w_k$ 代替(4)式中的 $w_t, w_{t+1}$ :

$$w_k' = 3.5213 \times 10^{-4} \left[ 0.6073 \left( \frac{w_k}{3.5213 \times 10^{-4}} \right)^{\frac{1}{2.5709}} + 336.3 \right]^{2.5709} \quad (5)$$

假设体重生长概率 $P_{k,i}^f$ 为鱼从体重组 $k$ 在下一年中生长进入体重组 $i$ 的概率,它服从正态分布 $N(w_k', \sigma_{w_k}^2)$ 。

$$P_{k,i}^f = \int_{w_k^l}^{w_k^u} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{w_k}^2}} \exp\left(-\frac{x-w_k'}{2\sigma_{w_k}^2}\right) dx \quad (6)$$

式中: $w_k^u, w_k^l$ 分别为体重组 $k$ 的上限和下限。

标准方差 $\sigma_{w_k}^2$ 与 $w_k'$ 成正比,根据卢伙胜<sup>[2]</sup>的生长方程式推算得变异系数为0.104。表1为体重生长概率。体重间距定为0.5kg,体重组从0~0.5kg到>0.5kg,体重0.5kg和0.5kg以上归入>0.5kg组。

表 1 北部湾红鳍笛鲷体重生长概率表  
Tab 1 Weight growth Probabilities of Lutjanus erythropterus in Beibu Gulf

体重组 i (kg)				体重组 k (kg)																	
$w_i$	$w_i'$	$\sigma$		15-22	22-25	25-33	33-35	35-44	44-45	45-5	5-5.5	5.5-6	6-6.5	6.5-7	7-7.5	7.5-8	8-8.5	8.5-9	9-9.5	>9.5	
0-0.5	0.25	2.35	0.24	0.08	0.66	0.26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5-1	0.75	3.25	0.34	0	0.01	0.22	0.54	0.22	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-1.5	1.25	3.92	0.41	0	0	0.01	0.14	0.43	0.35	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5-2	1.75	4.49	0.47	0	0	0	0.02	0.13	0.36	0.35	0.12	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-2.5	2.25	5.01	0.52	0	0	0	0	0.02	0.14	0.33	0.33	0.14	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5-3	2.75	5.49	0.57	0	0	0	0	0	0.04	0.15	0.31	0.31	0.15	0.03	0	0	0	0	0	0	0
3-3.5	3.25	5.94	0.62	0	0	0	0	0	0.01	0.05	0.17	0.3	0.28	0.14	0.04	0.01	0	0	0	0	0
3.5-4	3.75	6.37	0.66	0	0	0	0	0	0	0.02	0.08	0.19	0.29	0.25	0.13	0.04	0.01	0	0	0	0
4-4.5	4.25	6.78	0.7	0	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0.1	0.21	0.28	0.22	0.11	0.03	0.01	0	0	0
4.5-5	4.75	7.18	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.05	0.13	0.22	0.26	0.2	0.1	0.03	0.01	0	0
5-5.5	5.25	7.56	0.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.07	0.15	0.23	0.24	0.17	0.08	0.03	0.01	0
5.5-6	5.75	7.93	0.83	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0.09	0.17	0.23	0.22	0.15	0.07	0.03	0
6-6.5	6.25	8.3	0.86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.05	0.11	0.19	0.23	0.2	0.13	0.08	0
6.5-7	6.75	8.66	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.07	0.13	0.2	0.22	0.18	0.17	0
7-7.5	7.25	9.01	0.94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.04	0.09	0.15	0.2	0.2	0.3	0
7.5-8	7.75	9.35	0.97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.05	0.11	0.17	0.2	0.44	0
8-8.5	8.25	9.69	1.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0.07	0.13	0.18	0.57	0
8.5-9	8.75	10	1.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.05	0.09	0.14	0.69	0
9-9.5	9.25	10.3	1.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0.06	0.11	0.78	0
>9.5	9.75	10.7	1.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02	0.04	0.08	0.85	0

1.3 基于体重的单位补充量模型

假设补充群体于 0 年进入体重组 1, 补充量 R 表示如下:

$$R = N_0 \tag{7}$$

式中:  $N_0$  为种群数量。

种群数量时间序列按如下公式计算:

$$N_{k+1} = \sum_{j=1}^I (P_{kj}^t e^{-(F_{kj}+M)} N_{ij}) \tag{8}$$

式中:  $k$  和  $j$  是体重组;  $t$  是年份;  $F$  为捕捞死亡系数;  $M$  为自然死亡系数;  $P$  为体重转移概率。根据 (1) 式的参数和北部湾 40 m 平均水温 25.4 °C<sup>[9]</sup>, 由 Paully 经验公式估计得  $M=0.42$ 。

体重组  $j$  在第  $t$  年捕捞的数量为

$$C_{ij} = \frac{F_{ij}}{F_{ij}+M} (1 - e^{-(F_{ij}+M)}) N_{ij} \tag{9}$$

由补充群体推导的累积产量表示如下:

$$Y = \sum_{t=1}^I \sum_{j=0}^I C_{ij} w_j \tag{10}$$

最大年份 定为 12 年。一个世代的补充群体数量在 12 年后下降至 0。

YPR 计算如下:

$$YPR = \frac{Y}{R} = \frac{1}{R} \sum_{t=1}^I \sum_{j=0}^I C_{ij} w_j \tag{11}$$

1.4 基于体重的单位补充量亲体量模型

第  $t$  年体重组  $j$  的亲体生物量可表示如下:

$$S_{jt} = N_{ij} w_j m_j \tag{12}$$

式中:  $m_j$  是体重组  $j$  的性成熟度。这里假设产卵量与鱼体重成线性关系<sup>[10]</sup>。北部湾红鳍笛鲷的初次性成熟体长为 260 mm<sup>[11]</sup>。按公式 (3) 计算得北部湾红鳍笛鲷的初次性成熟体重为 569 g。为了简化计算 SPR 各体重组的性成熟系数  $m_j$  按表 2 的设定。

表 2 北部湾红鳍笛鲷不同体重组的性成熟度系数  
 Tab 2 Maturity by weight group for *Lutjanus erythropterus*

体重	0.5 kg以下	0.5~1 kg	1~1.5 kg	1.5~2 kg	2~2.5 kg	2.5~3 kg	3 kg以上
性成熟度系数 $m_i$	0	0.1	0.2	0.5	0.7	0.9	1

由补充群体推导的累积亲体生物量表示如下:

$$S = \sum_{i=1}^1 \sum_{j=0}^1 N_{ij} w_i m_i \quad (13)$$

则 SPR计算作:

$$SPR = \frac{S}{R} = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^1 N_{ij} w_i m_i \quad (14)$$

## 1.5 当前捕捞死亡系数

当前捕捞死亡系数  $F_{curr} = Z - M$ 。总死亡系数  $Z$  通常由自然对数转换后的标准渔获数量曲线的下降边缘拟合出的线性回归式中估计而来。根据卢伙胜的研究结果<sup>[2]</sup>, 当前红鳍笛鲷的  $Z$  为 1.14, 则当前捕捞死亡系数  $F_{curr}$  为 0.72。

## 1.6 当前开捕体重

根据 2007 年 7 月 2008 年 8 月渔港采样发现, 采样总数 421 尾, 其中 0.5~3 kg 体重组在所有体重组中比例最高, 达 51.25%。北部湾红鳍笛鲷被认为是在 0.5 kg 时完全进入被捕捞群体。虽然最小渔获体重为 0.125 kg 但小于 0.5 kg 的个体数量较少<sup>[2]</sup>。因此本文假设开捕体重是 0.5 kg, 其对应年龄为 1.5 龄。

## 2 结果

### 2.1 考虑体重生长概率的 YPR 和 SPR 模型

假设开捕体重为 0.5 kg, 基于体重的 YPR 和 SPR 随捕捞死亡系数增加的变化趋势如下图 1。当  $F_{max} = 0.85$  时, YPR 达到最大 1.48 kg (图 1 a), 相应地, SPR 为未开发状态的 24% (图 1 b)。当前的捕捞死亡系数  $F_{curr} < F_{max}$ , 尚未出现生长型过度捕捞, 但当前的红鳍笛鲷捕捞压力仍然偏大。按当前捕捞死亡系数  $F_{curr}$ , 单位补充量剩余亲体量是未开发状态的 28%, 亦未出现补充型过度捕捞。但在目前的开发模式下, 若追求最大化 YPR 必然会导致 SPR 大幅度下降。当  $F$  从目前的 0.72 减少到 0.40 时, 亦即相关捕捞努力量削减 42%, 可使 SPR 增加 1.4 倍, 亲体剩余量将恢复到 40%, 而相应地平衡条件下的 YPR 仅减少 6%, 未对渔业生产形成不利影响。以上的结果是在补充量不变的条件下得到的, 若补充量与亲体量相关, 则降低捕捞死亡系数将有效地增加北部湾红鳍笛鲷的生物量和渔获量。

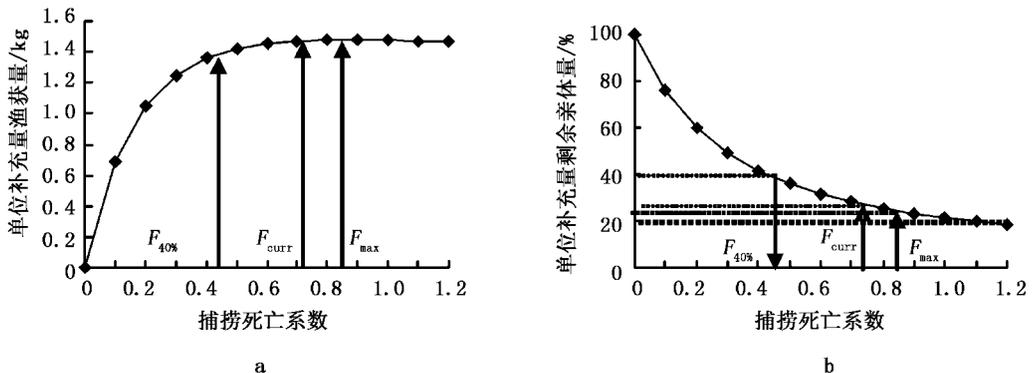


图 1 基于体重的 YPR 和 SPR 随捕捞死亡系数增加的变化趋势

Fig 1 Weight based YPR and SPR trend by fishing mortality rates

## 2.2 基于年龄结构的 YPR和 SPR模型

传统年龄结构的 YPR和 SPR曲线(图 2), 在开捕体重 0.5 kg条件下,  $F_{max}=0.85$ ,  $YPR_{max}=1.09$  kg对应的 SPR仅为未开发状态的 19%, 与考虑的体重生长概率的 YPR和 SPR曲线略微不同。生物学参考点  $F_{40\%}$ 、 $F_{20\%}$ 分别为 0.36、0.82 比基于体重的单位补充量模型低(图 1, 图 2)。

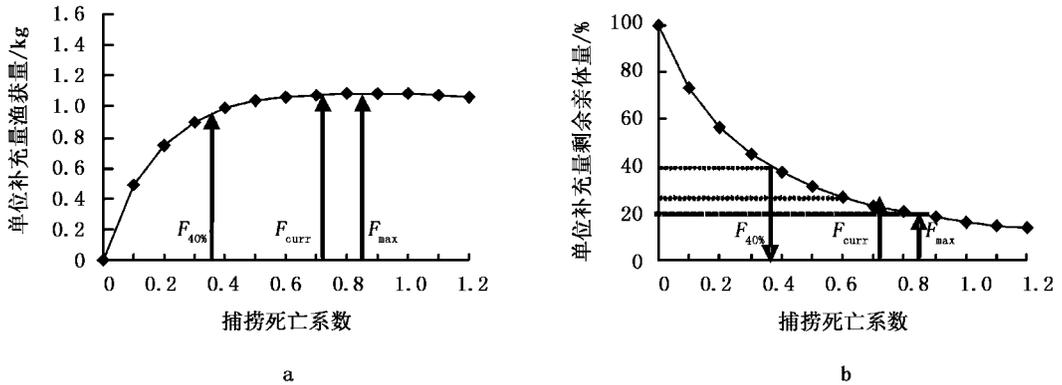


图 2 年龄结构的 YPR和 SPR随捕捞死亡系数增加的变化趋势

Fig 2 Age structured YPR and SPR trend by fishing mortality rates

## 3 讨论

### 3.1 两个模型的比较

基于体重生长概率的 YPR曲线整体高于年龄结构的 YPR曲线, 这是由于同一年份中因个体生长差异而延迟了剩余生物量的减少, 从总体上增加了 YPR的估计值, 但总体趋势一致。相应地, 因采用相对比值, 基于体重生长概率的 SPR曲线略高于年龄结构的 SPR曲线。按传统的年龄结构 YPR和 SPR曲线判断,  $F_{curr} < F_{max}$ ,  $F_{curr} < F_{20\%}$ , 即红鳍笛鲷群体既未出现生长型过度捕捞, 亦未出现补充型过度捕捞, 结论和基于体重生长概率的单位补充量模型一致, 但从体重角度评估, 参考点  $F_{20\%}$ 的数值可更大些(图 1b)。

### 3.2 体重生长概率的估计

在计算体重生长概率时, 假设了标准差与  $\sigma^2$ 成正比, 变异系数由生长方程的模型方差估计而来, 与实际情况可能有差别。未来的研究中如果能进行标志放流实验, 合适的标准差可以从放流时与回捕时的体重关系中直接推导出来。但目前未有这样标志放流数据, 因此本文提出的假设是仅次于标志放流实验的最好选择。许多生物学变量都是近似正态分布。笔者使用了正态分布计算体重生长概率, 但导致了体重生长出现了负增长, 特别是在大体重组(表 1), 但对 YPR和 SPR计算的实际影响可以忽略, 因为大体重组的残存个体数量较少。另外还能考虑其他分布如 gamma分布, 可以避免负增长的出现。

### 3.3 应用前景

YPR和 SPR使用了基于体重的模型进行估算。若无个体生长差异, YPR和 SPR的估计值应该与年龄结构模型的估算结果相同。Ueda和 Matsuish指出基于体重的 YPR和 SPR估计值略微不同于年龄结构的 YPR和 SPR估计值<sup>[12]</sup>。基于体重的 YPR和 SPR使用了体重生长概率表示个体生长差异, 应该比年龄结构的模型更合理。在 YPR和 SPR的估计程序里加入个体生长差异, 用基于个体的模型是处理这种问题的最好方式, 将个体生长差异的资料, 考虑进年龄结构的 YPR和 SPR模型。本方法简单易行, 而计算工作量巨大, 适用于寿命长, 体重大的底层鱼类的资源评估。

### 3.4 管理建议

北部湾红鳍笛鲷资源属于轻度过度开发(当前开发率大于0.5),建议渔业管理部门应当适度减少捕捞努力量。由于现阶段渔港采样样本中幼鱼偏少,年龄体长数据积累不够充分,采样覆盖不全面,生长方程的参数估计易产生偏差,由此影响到本模型的评估结果。因此在今后的工作中需要加强对样本的收集,获取更准确的生物学参数,改进评估结果,为管理部门的决策提供可靠的依据。

红鳍笛鲷的采样与数据整理工作得到了侯刚、卢伙胜等人的帮助,在此表示感谢!

### 参考文献:

- [1] 北部湾水产资源调查队. 北部湾水产资源调查报告[R]. 广州:广东省水产厅水产实验所, 1957: 1—110
- [2] 卢伙胜. 2007—2008年北部湾渔业资源调查与评估报告[R]. 湛江:广东海洋大学, 2008: 1—19
- [3] 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, 1985: 125
- [4] 贾晓平,李纯厚,林昭进,等. 北部湾渔业生态环境与渔业资源[M]. 北京:科学出版社, 2003: 172—187
- [5] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京:中国农业出版社, 1995: 121—166
- [6] Patterson K, Cook R, Darby C, et al. Estimating uncertainty in fish stock assessment and forecasting[J]. *Fish and Fisheries*, 2001, (2): 125—157
- [7] Ueda Y, Matsuiishi T. Weight based yield per recruitment and spawning biomass per recruitment analyses of Pacific cod *Gadus macrocephalus* off the Pacific coast of southern Hokkaido, Japan[J]. *Fish Sci*, 2005, 71: 799—804
- [8] Newman JS, Cappo M, Williams D M. Age, growth, mortality rates and corresponding yield estimates using otoliths of the tropical red snappers, *Lutjanus erythropterus*, *L. malabaricus* and *L. sebae* from the central Great Barrier Reef[J]. *Fisheries Research*, 2000, 48: 1—14
- [9] 侯刚,朱立新,卢伙胜. 北部湾二长棘鲷生长、死亡及其群体组成[J]. *广东海洋大学学报*, 2008, 28(3): 50—55
- [10] 陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京:海洋出版社, 2004: 53—68
- [11] 海洋资源室. 南海北部底拖网鱼类资源调查报告(海南岛以东)[R]. 广州:南海水产研究所, 1966: 1—298
- [12] Ueda Y, Matsuiishi T. Stock assessment based on body size information[J]. *Fish Sci*, 2002, 68(Suppl.): 425—426