第 29 卷第 3 期
2005 年 6 月

水　产　学　报
JOURNAL OF FISHERIES OF CHINA

Vol. 29, No. 3
June, 2005

文章编号: 1000- 0615(2005)03- 0398- 06

用补充曲线参数估算最大持续产量的方法

陈丕茂,　袁蔚文
(中国水产科学研究院南海水产研究所,广东　广州　510300)

摘要: 对于不同的补充- 捕捞类型, 用补充曲线参数估算最大持续渔获数(C_S) 和最大持续渔获量(MSY 或 Y_S) 的方法是不同的。提出并讨论了 2 种补充- 捕捞类型的评估方法: ① 一生只繁殖 1 次的连续捕捞类型, ② 一生繁殖多次、渔期短的季节性捕捞类型。把渔获量方程与 Ricker 繁殖模型和 Beverton-Holt 繁殖模型相结合, 建立新的以渔获数表示的平衡渔获量方程。分别把 Beverton-Holt 渔获量方程(用于第 1 类型) 和季节性渔业产量模型(用于第 2 类型) 与 Ricker 繁殖模型和 Beverton-Holt 繁殖模型相结合, 建立新的以重量表示的平衡渔获量方程。用这些方程式可以估算以数量表示的最大持续渔获数 C_S、以重量表示的最大持续渔获量 Y_S, C_S 所需的捕捞死亡系数(F'_S) 和 Y_S 所需的捕捞死亡系数(F_S)。计算了二种类型在同一自然死亡系数下的 C_S、Y_S、F'_S 和 F_S。结果表明: F_S 不等于 F'_S, 同一种群的 F_S 可以小于 F'_S, 但 F_S 不可能大于 F'_S。

关键词: 补充曲线; 最大持续渔获数; 最大持续产量
中图分类号: S934　　文献标识码: A

Methods for assessment of maximum sustainable yield using recruitment curve parameter

CHEN Pi-mao, YUAN Wei-wen
(*South China Sea Fisheries Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou* 510300, *China*)

Abstract: For different recruitment-fishing types, the methods for estimate of maximum sustainable yield (MSY or Y_S) and maximum sustainable catches (C_S) using recruitment curve parameters are different. This paper presented and discussed the methods for two recruitment-fishing types. The two types are: Type 1 is one time reproduction in all one' s life and continuous fishing. Type 2 is many times reproduction in all one' s life and seasonal fishing. We combined catches equation with Ricker reproduction model or Beverton-Holt reproduction model to produce new equilibrium catches equations: $C = \frac{(\ln\alpha - Z)FA}{\beta e^{-Z}Z}$ (for type 1) and $C = \frac{(e^{-Z} - b)F(1 - e^{-Z})}{\alpha Z e^{-Z}}$ (for type 1) (in the two equations, C is sustainable catch in fishing period, α and β are Ricker reproduction model parameters, a and b are Beverton-Holt reproduction model parameters, Z is total mortality coefficient in fishing period, F is fishing mortality coefficient in fishing period, A is total mortality rate in fishing period), and $C = URe^{-M(t_c - t_r)}\frac{1 - e^{-Z(t_\lambda - t_c)}}{1 - e^{-Z}}$ (for type 2) (U is exploitation rate in fishing season, R is recruitment corresponding with F, M is annual natural mortality coefficient, t_c is first capture age, t_r is the age used to calculate the recruitment, t_λ is the maximum age of the catches, Z is annual total mortality coefficient). We also combined Beverton-Holt yield equation (for type 1) and yield equation for seasonal fishery (for type 2) with Ricker reproduction model or Beverton-Holt reproduction model to produce new equilibrium yield equations: $Y = \frac{FW_\infty(\ln\alpha - Z)}{\beta e^{-Z}(t_\lambda - t_c)}\sum_{n=0}^{3}\frac{Q_n e^{-nK(t_c - t_0)}}{\frac{F + M}{t_\lambda - t_c} + nK}\left[1 - e^{-(F + M + nK(t_\lambda - t_c))}\right]$ (for type 1) and $Y = \frac{FW_\infty(e^{-Z} - b)}{ae^{-Z}(t_\lambda - t_c)}\sum_{n=0}^{3}\frac{Q_n e^{-nK(t_c - t_0)}}{\frac{F + M}{t_\lambda - t_c} + nK}\left[1 - e^{-(F + M + nK(t_\lambda - t_c))}\right]$ (for type 1) (in the two equations, Y is yield, W_∞, t_0(month), and K are von Bertalanffy growth equation parameters, t_c is first capture

收稿日期: 2004-04-23
资助项目:“九五”国家海洋勘测专项(HY126- 02- 01- 03); 广东省海洋与渔业局重点科技项目“广东省渔业资源调查与跟踪分析”
作者简介: 陈丕茂(1970-), 男, 广东化州人, 副研究员, 主要从事渔业资源研究。Tel: 020- 84182458; E-mail: cpmgd@yahoo.com.cn

month age, t_λ is the maximum month age of the catches. ($n=0$, $Q_0=1$. $n=1$, $Q_1=-3$. $n=2$, $Q_2=3$. $n=3$, $Q_3=-1$), and $Y=URe^{-M(t_c-t_r)}\sum_{t=t_c}^{t_\lambda}e^{-(M+F)(t-t_c)}W_\infty(1-e^{-K(t-t_0)})^3$ (for type 2) (M is annual natural mortality coefficient, t_r is the age used to calculate the recruitment, W_∞, t_0(year), and K are von Bertalanffy growth equation parameters). These equations may be used separately to estimate C_S, Y_S, fishing mortality coefficient need for $C_S(F'_S)$, and fishing mortality coefficient need for $Y_S(F_S)$. We calculated C_S, Y_S, F'_S, and F_S at same M for type 1 and type 2. The results show that, F_S does not equate with F'_S. We considered that F_S may be less than F'_S but F_S can not be greater than F'_S for same recruitment curve.

Key words: recruitment curve; maximum sustainable catches; maximum sustainable yield

根据亲鱼量–补充量关系估算最大持续产量(MSY 或 Y_S)的方法, 由于繁殖补充类型、捕捞类型和亲鱼量与补充量的测量标准的不同而不同。Ricker[1] 提出了利用亲鱼量–补充量模型参数估算最大持续产量 MSY 的模型, 该模型是以平衡渔获量等于补充量减去亲鱼量为前提的, 该方法适用于一生只繁殖 1 次、渔期很短、在捕捞期间自然死亡和生长可以忽略不计的种类, 如大麻哈鱼。Beverton 和 Holt[2] 把他们的产量方程与补充曲线结合成平衡产量方程。Walter[3] 用分析方法系统阐述了补充量与每补充量的产量相结合的问题, 并应用电子计算机以便了解这些数式。

在海洋渔业资源中有些种类虽然一生只繁殖 1 次, 并遭受连续捕捞, 捕捞从补充群体进入渔场开始至繁殖结束为止, 这段时间的自然死亡大、生长迅速, 不能用 Ricker 方法来估算 MSY[4], 像捕捞鱿鱼、虾等寿命仅 1 年的渔业就是这一补充–捕捞类型。海洋中的大多数渔业资源是一生繁殖多次, 亲鱼包括多个世代的产卵群体, 在这一类型中有些是全年进行捕捞, 对于这一类型已有估算 MSY 的方法; 但也有一些种类, 一生繁殖多次, 但捕捞是季节性的, 对于这一类型, 还未见有利用亲鱼量–补充量关系参数估算 MSY 的方法。

本文主要针对上述 2 种类型, 提出用补充曲线参数估算最大持续产量的方法。

1 材料与方法

1.1 材料

以 Ricker[5] 提出的补充曲线为例, 研究利用补充曲线参数估算一生只繁殖 1 次的连续捕捞类型的最大持续产量的方法; 以万山蓝圆鲹种群的亲鱼量–补充量关系[6] 为例, 研究利用补充曲线参数估算一生繁殖多次的季节性捕捞类型的最大持续产量的方法。

1.2 计算方法

一生只繁殖 1 次的连续捕捞类型　这一补充–捕捞类型的特点是一生只繁殖 1 次, 一生遭受连续捕捞, 渔期较长, 生长和死亡不能忽略不计。在平衡条件下, 补充量大于亲鱼量, 这种类型的平衡渔获数不等于补充量减亲鱼量, 因此不能应用 Ricker 以平衡渔获数等于补充量减亲鱼量为前提建立的计算最大持续产量的模式。

(1) 最大持续渔获数 C_S 的计算。如果同一世代的补充群体在同一年成熟产卵, 种群的亲鱼量–补充量关系适于 Ricker 补充模型, 若种群的亲鱼量–补充量关系适于 Ricker 补充模型, 即:

$$R=\alpha Pe^{-\beta P}, \text{或:} \frac{P}{R}=\frac{1}{\alpha e^{-\beta P}} \tag{1}$$

式中: R 为补充群体的数量; P 为产生该补充群体的亲鱼群体数量; α 和 β 为 Ricker 补充模型参数。

补充群体数量(R)与其成为产卵群体数量(P')的关系:

$$\frac{P'}{R}=S=e^{-z} \tag{2}$$

或:

$$P'=Re^{-Z} \tag{3}$$

(2)、(3) 式中: S 为残存率; Z 为总死亡系数。

在平衡状态下,

$$\frac{P}{R}=\frac{P'}{R}, \text{即:} \frac{1}{\alpha e^{-\beta P}}=e^{-Z} \tag{4}$$

(3) 式代入(4) 式, 整理后为:

$$R=\frac{\ln\alpha-Z}{\beta e^{-Z}} \tag{5}$$

渔期的渔获数[7]:

$$C=\frac{RFA}{Z}=\frac{RF(1-e^{-Z})}{Z} \tag{6}$$

(5) 式 R 值代入(6) 式为:

$$C=\frac{(\ln\alpha-Z)FA}{\beta e^{-Z}Z} \tag{7}$$

式中: α 和 β 为 Ricker 补充模型(1) 式的参数; Z 为渔期的总死亡系数($Z=M+F$); M 为渔期的自然死亡系数; F 为渔期的捕捞死亡系数; A 为渔期的总死亡率。

得到一系列 F 值及其相对应的 C 值后, 便可作出一条对 F 的关系曲线, 曲线上的最大 C 值即为最大持续渔获数 C_S, 与其相对应的 F 值即为获得最大持续渔获数的捕捞死亡系数, 用 F'_S 表

示。

种群的亲鱼量-补充量关系适于 Beverton-Holt 模型

若种群的亲鱼量-补充量关系适于 B-H 模型, 即:

$$R=\frac{P}{aP+b}, \text{或:} \frac{P}{R}=aP+b \tag{8}$$

在平衡条件下, (8)式的 P 值与(2)式的 P' 相等, 即:

$$aP+b=e^{-Z} \tag{9}$$

(3)式的 P' 值代入(9)式整理后为:

$$R=\frac{e^{-Z}-b}{ae^{-Z}} \tag{10}$$

(10) 式代入(6) 式为:

$$C=\frac{(e^{-Z}-b)F(1-e^{-Z})}{aZe^{-Z}} \tag{11}$$

(8)~(11)式中符号除 a 和 b 为 B-H 补充模型参数外, 其余与(7) 式同。

如果 a、b 参数与自然死亡系数已知, 便可用(11)式计算各个 F 值的 C, 随后绘出对 F 的关系曲线。C 的最大值即为最大持续渔获量数, 与最大持续渔获数相对应的 F 值即为获得最大持续渔获数的捕捞死亡系数。

(2) 最大持续产量 MSY 的计算。如果要计算最大持续产量 MSY, 则要结合各种动态综合模型计算, 如 Beverton-Holt 模型和 Ricker 模型等。

Ricker 补充曲线参数与 B-H 单位补充量渔获量模型相结合用(5)式的 R 值代入 B-H 单位补充量渔获量模型并把渔期捕捞死亡系数 F、渔期自然死亡系数 M 和渔期总死亡系数被$(t_\lambda-t_c)$除变为月捕捞死亡系数、月自然死亡系数和月总死亡系数得:

$$Y=\frac{FW_\infty(\ln\alpha-Z)}{\beta e^{-Z}(t_\lambda-t_c)}\sum_{n=0}^{3}\frac{Q_n e^{-nK(t_C-t_0)}}{\frac{F+M}{t_\lambda-t_c}+nK}\left[1-e^{-(F+M+nK(t_\lambda-t_c))}\right] \tag{12}$$

式中: Y 为渔获量; α 和 β 为 Ricker 补充模型参数; W_∞、t_0、K 为 von Bertalanffy 生长方程参数; t_c 为补充进入渔业的月龄(月), t_λ 为渔获物的最大月龄; $n=0$, $Q_0=1$; $n=1$, $Q_1=-3$; $n=2$, $Q_2=3$; $n=3$, $Q_3=-1$。

用(12) 式计算, Y 值的最大值即为 MSY, 与 MSY 相对应的 F 即为最适捕捞死亡系数 F_S。

B-H 补充曲线参数与 B-H 单位补充量渔获量模型相结合。

用(10) 式的 R 值代入 B-H 单位补充量渔获量模型得:

$$Y=\frac{FW_\infty(e^{-Z}-b)}{ae^{-Z}(t_\lambda-t_c)}\sum_{n=0}^{3}\frac{Q_n e^{-nK(t_c-t_0)}}{\frac{F+M}{t_\lambda-t_c}+nK}\left[1-e^{-(F+M+nK(t_\lambda-t_c))}\right] \tag{13}$$

式中: 除 a 和 b 为 B-H 补充曲线参数外, 其余符号与(12) 式同。

一生繁殖多次的季节性捕捞的类型　这一补充-捕捞类型是一年繁殖 1 次, 一生繁殖多次, 亲鱼包括多个世代的产卵群体, 在平衡状态下, 亲鱼量可大于补充量。捕捞仅在每年繁殖期间进行。由于亲鱼、补充群体的测定标准不同, 依据亲鱼量-补充量关系模型估算 MSY 的方法略有差别。如以进入产卵场时的产卵群体数量和以产过卵的群体数量作为亲鱼量拟合的补充曲线参数肯定不同, 因此依据补充曲线参数估算 MSY 就有差别, 本文只讨论后一情况。

(1) F 和 P 的计算。补充量(R)以补充年龄(t_r)时的补充群体数量表示, 亲鱼量(P)以产完卵渔汛结束后的各龄群数量之和表示。设初捕年龄为 t_c, 渔获最大年龄为 t_λ。因为鱼在渔场停留的时间短, 在渔汛期的自然死亡可以忽略不计。在平衡条件下, 各龄亲鱼量分别为:

$$P_{t_c}=Re^{-M(t_c-t_r)}e^{-F}$$

$$P_{t_c+1}=Re^{-M(t_c-t_r)}e^{-F}S$$

$$P_{t_c+2}=Re^{-M(t_c-t_r)}e^{-F}S^2$$

……

$$P_{t_\lambda}=Re^{-M(t_c-t_r)}e^{-F}S^{(t_\lambda-t_c)}$$

总亲鱼量为各龄亲鱼量之和。因为拟合亲鱼量-补充量关系中的亲鱼量为产生补充群体的亲鱼群体的数量, 此处的亲鱼量为补充群体长大后成为亲鱼的量, 为了区别, 本处所指亲鱼量用 P' 表示。

$$\begin{aligned}P' &= P_{t_c}+P_{t_c+1}+P_{t_c+2}+\cdots+P_{t_\lambda}\\ &= Re^{-M(t_c-t_r)}e^{-F}+Re^{-M(t_c-t_r)}e^{-F}S+Re^{-M(t_c-t_r)}e^{-F}S^2+\cdots+Re^{-M(t_c-t_r)}e^{-F}S^{(t_\lambda-t_c)}\\ &= Re^{-M(t_c-t_r)}e^{-F}(1+S+S^2+\cdots+S^{(t_\lambda-t_c)})\\ &= Re^{-M(t_c-t_r)}e^{-F}\left(\frac{1-S^{(t_\lambda-t_c)}}{1-S}\right)\end{aligned}$$

因 $S=e^{-Z}$, 上式变为:

$$\frac{P'}{R}=e^{-M(t_c-t_r)}e^{-F}\left(\frac{1-e^{-Z(t_\lambda-t_c)}}{1-e^{-Z}}\right) \quad (14)$$

若为 Ricker 补充曲线, 在平衡状态下, (1) 式的 P/R 与(14)式的 P'/R 相等, 即:

$$e^{-M(t_c-t_r)}e^{-F}\left(\frac{1-e^{-Z(t_\lambda-t_c)}}{1-e^{-Z}}\right)=\frac{1}{\alpha e^{-\beta P}}$$

两边取自然对数、整理后为:

$$P=\frac{\ln\alpha-M(t_c-t_r)-F+\ln(1-e^{-Z(t_\lambda-t_c)})-\ln(1-e^{-Z})}{\beta} \quad (15)$$

若为 B-H 补充曲线(见(8)式), 在平衡状态下, (14) 式的 R/P' 等于(8)式的 R/P, 因此可得到:

$$P=\frac{e^{-M(t_c-t_r)}e^{-F}(1-e^{-(M+F)(t_\lambda-t_r)})}{(1-e^{-(M+F)})a}-\frac{b}{a} \quad (16)$$

只要已知补充曲线参数 α、β 或 a、b 和自然死亡系数 M, 给出 F 值, 就可分别用(15)、(1) 式和(16)、(8) 式计算两类补充曲线的与 F 相对应的 R 值和 P 值。

(2) F'_S 和 C_S 的计算。得到与各个 F 值相对应的 R 值后, 就可进一步计算各个 F 值的渔获数。各龄鱼的渔获数为其进入渔场的数量与渔汛期的利用率 $U(=1-e^{-F})$ 的乘积[5]:

$$C_{t_c}=URe^{-M(t_c-t_r)}$$

$$C_{t_c+1}=URe^{-M(t_c-t_r)}S$$

$$C_{t_c+2}=URe^{-M(t_c-t_r)}S^2$$

$$\cdots$$

$$C_{t_\lambda}=URe^{-M(t_c-t_r)}S^{(t_\lambda-t_c)}$$

总渔获数:

$$\begin{aligned}C&=C_{t_c}+C_{t_{c+1}}+C_{t_c+2}+\cdots+C_{t_\lambda}\\&=URe^{-M(t_c-t_r)}+URe^{-M(t_c-t_r)}S+URe^{-M(t_c-t_r)}S^2\\&\quad+\cdots+URe^{-M(t_c-t_r)}S^{(t_\lambda-t_c)}\\&=URe^{-M(t_c-t_r)}(1+S+S^2+\cdots+S^{(t_\lambda-t_c)})\\&=URe^{-M(t_c-t_r)}\frac{(1-S^{(t_\lambda-t_c)})}{1-S}\end{aligned}$$

因 $S=e^{-Z}$, 所以上式变成:

$$C=URe^{-M(t_c-t_r)}\frac{1-e^{-Z(t_\lambda-t_c)}}{1-e^{-Z}} \quad (17)$$

式中: C 为渔获数; R 为补充量; M 为年自然死亡系数; t_r 为计算补充量的年龄; t_c 为初捕年龄; Z 为年总死亡系数, 等于 $F+M$。

得到各个 F 值的 C 值, 便可作一图, 图中 C 的最大值, 即为以数量表示的最大持续渔获数, 其相应的 F 值即为获得最大持续渔获数的捕捞死亡系数, 用 F'_s 表示。

若为 Ricker 补充曲线, 先依(15)式计算与各个 F 值相对应的亲鱼数 P, 再依(1)式计算与各个 F 值相对应的补充量 R, 随后将 F 值和与之相对应的 R 值代入(17)式计算不同 F 值下的捕获数 C, 最后用 C 对 F 作图, 图中最大 C 值即为最大持续渔获数 C_S, 其对应的 F 值为获得最大持续渔获数所需的捕捞死亡系数 F'_S。

若为 B-H 补充曲线, 则先依(16)式计算与各个 F 值相对应的亲鱼数 P, 再依(8)式计算与各个 F 值相对应的补充量 R, 接着用 F 值及与其相对应的 R 值代入(17)式计算不同 F 值下的捕获数 C, 最后用 C 对 F 作图, 图中最大 C 值即为最大持续渔获数 C_S, 其对应的 F 值为获得最大持续渔获数所需的捕捞死亡系数 F'_S。

(3) F_S 和 Y_S 的计算。计算最大持续产量可用袁蔚文[6]提出的季节性产量模型计算。即各龄亲鱼捕获数乘各龄亲鱼的体重之和, 即:

$$\begin{aligned}Y&=URe^{-M(t_c-t_r)}W_\infty(1-e^{-K(t_c-t_0)})^3+\\&\quad URe^{-M(t_c-t_r)}SW_\infty(1-e^{-K(t_{c+1}-t_0)})^3+\\&\quad URe^{-M(t_c-t_r)}S^2W_\infty(1-e^{-K(t_{c+2}-t_0)})^3+\cdots+\\&\quad URe^{-M(t_c-t_r)}S^{(t_\lambda-t_c)}W_\infty(1-e^{-K(t_\lambda-t_0)})^3\\&=URe^{-M(t_c-t_r)}\sum_{t=t_c}^{t_\lambda}e^{-(M+F)(t-t_c)}W_\infty(1-e^{-K(t-t_0)})^3\end{aligned} \quad (18)$$

式中: R 为补充量, M 为年自然死亡系数, F 为捕捞死亡系数, t_r 为测量补充量时的年龄, t_c 为初捕年龄, t_λ 为渔获最大年龄, W_∞、K、t_0(年) 为 von Beterlanffy 生长方程参数。

用上述方法计算的与各个 F 值对应的 R 值和其它有关参数值代入(18)式即可求出各个 F 值的 Y 值, 用 Y 值对 F 值作图, 图中最大 Y 值即为 Y_S, 与 Y_S 相对应的 F 值即为 F_S。

2　结果

2.1　一生只繁殖 1 次的连续捕捞类型的最大持续产量估算

Ricker[5] 提出的补充曲线为:

$R=3.490Pe^{-0.00125P}$ (单位: 10^6 ind)

假如该种群出生后 6 个月补充进入渔业, 渔业持续半年, 产卵后即死亡。因此自然死亡不能忽略不计, 即 $C_e\neq R_e-P_e$, 假定该种群渔期(6 个

月)的自然死亡系数 M 为 0.2496, 以月为时间单位的 von Bertalanffy 生长方程的参数 $K=0.245$, $t_0=0.028$, $W_\infty=285.3$, 我们便可按上述提出的方法计算 C_s 和 Y_s。计算结果列于表 1。

对上述亲鱼量-补充量关系, Ricker 在 $C_e=R_e-P_e$ 的前提下计算的最大持续渔获数 C_s 为 447×10^6 ind、获得最大持续渔获数的捕捞死亡系数 F'_s 为 0.73、亲鱼量 P'_S 为 415×10^6 ind、补充量 R'_s 为 862×10^6 ind。在补充曲线参数 α、β 相同的情况下, 用本文提出的适用于渔期自然死亡不能忽略不计的方法的计算结果(表 1)与之相比, 当渔期的自然死亡不能忽略不计时, 其 C_S、P'_S(获得最大持续渔获数所需的亲鱼数)、R'_S(获得最大持续渔获数所需的补充量)和 F'_S(获得最大持续渔获数所需的捕捞死亡系数)均小于渔期的自然死亡可忽略不计的捕捞类型。

当渔期的自然死亡系数可以忽略不计, 即 $M=0$ 时, 用本文提出的适用于评估第 1 类型的 C_S 的方法计算的 C_S 和 F'_S 与 Ricker 计算 C_S 的模型的计算结果相同, 表明该方法既可用来计算渔期自然死亡系数不能忽略情况下的 C_S 和 Y_S, 也可用来计算渔期自然死亡系数可以忽略不计情况下的 C_S 和 Y_S。表明在计算 C_S 和 Y_S 方面, 本方法比 Ricker 模型的应用范围更广。

从表 1 可看出在自然死亡不变的情况下, 同一补充曲线的 F'_S 和 F_S 可能不相同, 但前者不可能小于后者, 因为渔获物的平均体重随捕捞死亡系数的增加而减少。获得最大渔获数的捕捞死亡系数 F'_S 大于获得最大持续产量时的捕捞死亡系数 F_S。

表 1 一生只繁殖 1 次的连续捕捞类型的最大持续产量估算

Tab. 1 Assessment of Y_S of the type that one time reproduction in all life and continuous fishing

项目 items	渔期捕捞死亡系数 fishing mortality coefficient in fishing season	渔期总死亡系数 total mortality coefficient in fishing season	补充量 (10^6ind) recruitment	亲鱼量 (10^6ind) parent fishes	死亡量 (10^6ind) death number	死亡率 mortality	捕获数 (10^6ind) catches	渔获量 (t) yield
计算公式 equation		$Z=F+0.2496$	(5)	(3)	$D=R-P$	$A=1-e^{-Z}$	(7)	(12)
	0.550	0.7996	801.41	360.24	441.17	0.5505	303.46	57 051.76
	0.555	0.8046	796.49	356.24	440.24	0.5527	303.67	57 078.46
	0.560	0.8096	791.49	352.24	439.25	0.5550	303.83	57 093.45
	0.565	0.8146	786.42	348.24	438.18	0.5572	303.92	57 096.64
	0.570	0.8196	781.29	344.24	437.05	0.5594	303.95	57 087.94
	0.575	0.8246	776.08	340.24	435.84	0.5616	303.91	57 067.27
	0.580	0.8296	770.80	336.24	434.56	0.5638	303.81	57 034.51

2.2 一生繁殖多次的季节性捕捞类型的最大持续产量估算

万山蓝圆鲹种群的亲鱼量-补充量关系曲线是以 $t_r=1$ 时的补充量作为补充量、渔期结束后产过卵的群体量作为亲鱼量拟合的[6]。该种群的亲鱼量-补充量关系式为:

$R=7.004Pe^{-0.758P}$ (单位: 10^8 ind)

万山蓝圆鲹种群参数为: $M=0.48$, $W_\infty=281$ g, $t_0=-0.95$, $k=0.40$, $t_c=1$, $t_\lambda=5$, $t_c=t_r$。

第 1 步, 用(15)式计算与各个 F 值相对应的 P, 再用(1)式计算 R 值。

第 2 步, 将 F 值和 R 值及其它参数代入(17)式, 就可得到与各个 F 值相对应的 C 值, C 值的最大值即为最大持续渔获数。

第 3 步, 将 F 值和与其相对应的 R 值及其它已知种群参数代入(18)式求出与各个 F 值相对应的 Y 值, Y 的最大值即为最大持续产量。

计算过程和结果列于表 2。

表 2 结果表明, 万山蓝圆鲹种群的最大持续渔获数 C_S 为 2.9261×10^8 ind, 与之相对应的捕捞死亡系数 F'_S 为 1.25, 最大持续产量为 16 260.14 t, 与之相对应的捕捞死亡系数 F_S 为 1.15。

表 2 一生繁殖多次的季节性捕捞类型的最大持续产量估算

Tab. 2 Assessment of Y_S of the type that many times reproduction in all life and seasonal fishing

项目 items	捕捞死亡系数 fishing mortality coefficient	亲鱼量 (10^8 ind) parent fishes	补充量 (10^8 ind) recruitment	捕获数 (10^8 ind) catches	渔获量 (t) yield
计算公式 equation		(15)	(1)	(17)	(18)
	1.05	1.5017	3.3696	2.7897	16 154.63
	1.10	1.4186	3.3901	2.8432	16 238.06
	1.15	1.3365	3.3990	2.8844	16 260.14
	1.20	1.2553	3.3951	2.9125	16 217.10
	1.25	1.1750	3.3774	2.9261	16 104.63
	1.30	1.0955	3.3444	2.9241	15 917.90
	1.35	1.0167	3.2949	2.9052	15 651.56

3 结语与讨论

(1) 依据亲鱼量与补充量关系参数估算最大持续产量(MSY 或 Y_S)的关键是估算与捕捞死亡系数相对应的亲鱼量或补充量, 不同补充- 捕捞类型和不同的亲鱼和补充群体的测量标准、估算与捕捞死亡系数相对应的补充量的方法是不同的, 本文提出了 2 种补充- 捕捞类型的估算方法。

(2) 同一亲鱼量- 补充量关系的种群, 获得最大持续渔获数与获得最大持续产量(MSY)的捕捞死亡系数可以是不相同的, 获得 MSY 的捕捞死亡系数 F_S 不可能大于获得最大持续渔获数时的捕捞死亡系数 F'_S, 因为当 $F > F'_S$ 时不但捕获数量小于最大持续渔获数, 而且平均体重也小于获得最大持续渔获数时的平均体重。

(3) 本文提出的适于评估第 1 补充- 捕捞类型的 C_S 和 Y_S 的方法与 Ricker 在 $C_e = R_e - P_e$ 前提下建立的估算 MSY 的方法不同, 前者既可用来计算渔期自然死亡系数不能忽略不计的捕捞类型的 C_S 和 Y_S, 也可用来计算渔期自然死亡系数可以忽略不计的捕捞类型的 C_S 和 Y_S, 但后一方法不能用来计算渔期自然死亡和生长不能忽略不计的捕捞类型的 C_S 和 Y_S, 在计算 C_S、Y_S、F'_S 和 F_S 方面, 前者的应用范围更广。

(4) Ricker 估算获得最大持续渔获数的捕捞死亡系数 F'_S 的方法可用来估算本文第 1 类型持续死亡量最大时的捕捞死亡系数 F'_{md}。对于本文中一生只繁殖 1 次的连续捕捞类型, 估算的 F'_S 可能大于但不可能小于 F'_{md}, 因为当 $F > F'_{md}$ 虽死亡量小于 F'_{md} 时的死亡量, 但捕捞死亡系数 F 大于 F'_{md}, 因此渔获数有可能大于 F'_{md} 时的渔获数; 当 $F < F'_{md}$, 死亡量小于最大持续死亡量, 因此其最大持续渔获数不可能大于 F'_{md} 时所获得的渔获数。

参考文献:

[1] Ricker W E. Stock and recruitment[M]. Fish Res Bd Can, 1954, 11: 559- 623.

[2] Beverton R J H, Holt S J. On the dynamics of exploited fish populations[M]. U K Min Agric Fish, Fish Invest, (Ser. 2), 1957, 19: 533.

[3] Walter C J. Aaeneralised simulation model for fish population studies[J]. Trans Am Fish Soc, 1969, 98: 505- 512.

[4] 袁蔚文, 陈丕茂. 渔业资源评估中的若干问题[J]. 南海水产研究, 2003, (26): 72- 76.

[5] Ricker W E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations[J]. Bull Fish Res Bd Can, 1975, 191: 382.

[6] 袁蔚文. 季节性渔业的产量模式[J]. 海洋通报, 1984, 3(1): 65- 70.