

文章编号: 1000-0615(2019)09-1925-12

DOI: 10.11964/jfc.20190411742

威海西霞口海洋牧场鱼礁区中许氏平鲈的生长、死亡及合理利用

张萌萌, 刘岳, 解涛, 陈文蕾, 唐衍力*

(中国海洋大学水产学院, 山东青岛 266003)

摘要: 人工鱼礁是我国海洋牧场的重要组成部分。许氏平鲈是我国沿海广布的经济鱼种。为比较研究许氏平鲈的资源状况, 本实验根据2016—2018年西霞口海洋牧场鱼礁区的资源调查, 运用ELEFAN I基于许氏平鲈体长频率数据、变换体长渔获曲线法、单位补充量等渔获量曲线法和生物学参考点对许氏平鲈的生长、死亡和合理利用进行初步研究, 运用蒙特卡罗模拟法将不确定性引入资源评估。实验表明, 浅水域许氏平鲈的平均体长、平均体质量、渐近体长和渐近体质量均大于中水域, 深水水域最小, 表明西霞口礁区浅水域许氏平鲈的生长状况最好。中水域的捕捞死亡系数和自然死亡系数均大于深水水域, 浅水域最小, 表明西霞口礁区中水域的许氏平鲈资源死亡率最高。本实验首次将生物学参考点及不确定性分析用于不同水深礁区的资源评价, 结果发现, 3种不确定水平下 F_{BRP} 的判断结果与无不确定性结果一致, 且 $F_{0.1}$ 更适合礁区许氏平鲈的资源评估。结合Gulland理论、生物学参考点和单位补充量渔获量分析可知, 礁区资源处于轻度开发状态, 可以通过适当提高捕捞强度来增加渔获量。浅水域可提高到 $Y_W/R=25.60$ 对应的开捕年龄为1.83 a; 中水域可提高到 $Y_W/R=23.89$ 对应的开捕年龄为0.93 a; 深水水域可提高到 $Y_W/R=16.74$ 对应的开捕年龄为1.12 a。

关键词: 许氏平鲈; 资源现状; Beverton-Holt模型; 生物学参考点; 西霞口人工鱼礁区
中图分类号: S 931 **文献标志码:** A

随着海洋资源的逐步开发, 鱼类栖息地遭到一定程度的破坏, 渔业资源急剧衰退, 因此, 海洋牧场的建设势在必行。人工鱼礁作为海洋牧场建设的重要组成部分, 能为鱼类创造良好的生长、繁殖场所^[1], 其投放后的效果也受到广泛关注。

西霞口海洋牧场位于山东省威海市西霞口近岸海域, 是多种海洋生物洄游、索饵和产卵的场所。许氏平鲈(*Sebastes schlegelii*)营半定居性生活, 是中国近海常见冷温性底层鱼类^[2]。作为西霞口海洋牧场鱼礁区的优势品种, 许氏平鲈一般是用地笼和刺网等渔具进行采捕。

目前, 不少学者研究了许氏平鲈体质量与

形态性状的表型特征^[3]、形态特征与主要环境因子的关系^[4]、人工鱼礁模型和大型海藻对许氏平鲈与大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)的诱集作用^[5]、环境丰容对许氏平鲈早期发育阶段趋礁行为的影响^[6]、环境对许氏平鲈丰度的影响^[7-8]、许氏平鲈分布与近礁距离的关系^[9]、许氏平鲈的年龄与生长特性的研究^[10]和许氏平鲈资源评价^[11-12]等, 但主要侧重于资源生物学方面。本实验利用2016—2018年西霞口不同水深礁区进行的9次调查数据, 比较研究许氏平鲈群体的生长、死亡等参数, 并利用Beverton-Holt模型、生物学参考点讨论其资源利用状况, 结合其生长特征、单位补充量渔获量, 为西霞口渔业资源的可持

收稿日期: 2019-04-16 修回日期: 2019-07-09

资助项目: 山东省海洋与渔业科技创新计划(2017HYCX007)

通信作者: 唐衍力, E-mail: tangyanli@ouc.edu.cn

续利用提供科学依据,从而在一定程度上指导渔业资源的合理开发利用。

1 材料与方法

1.1 数据来源

鱼礁区位于威海市西霞口近岸海域,本研究按水域深浅依次划分为浅水域(小于5 m)、中水域(5~10 m)和深水域(大于10 m),按照分层随机取样

法每次调查分别在不同水深礁区随机取样3个站位。

2016年8月至2018年8月对鱼礁区进行了9次渔业资源调查,其中春季2次、夏季3次、秋季2次、冬季2次,一年四季均有覆盖。调查渔具为地笼,其网目尺寸为2 cm,矩形尺寸为37 cm×22 cm,每只包含24节,1组由5只构成。每个站位放置一组地笼,置于底层,网具在海域内迎流放置48 h。鱼礁区的位置和调查站位如图1所示。

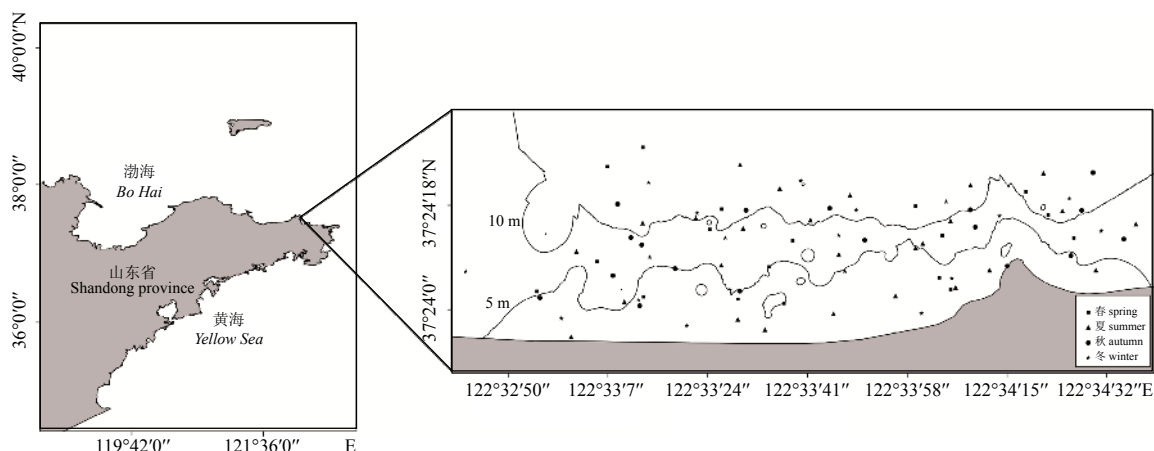


图1 西霞口鱼礁区位置及站位分布

Fig. 1 Location and station distribution map of Xixiakou artificial reef area

样品采集后带回实验室,按照《海洋调查规范》(GB/T12763.6-2007)进行种类鉴别和生物学参数测量^[13],包括体长、全长、体质量、纯重、性别、摄食等级等,其中各个站位不足50尾的全部测定,否则随机取样测定50尾。根据实验调查的许氏平鲆数据量依次为浅水域151尾、中水域176尾、深水域99尾。

1.2 数据分析方法

鱼类体长、全长和体质量的关系 鱼类的生长使资源总量增加,它是影响资源群体数量变动的主要因素之一。

体长-全长关系用线性回归来拟合,体长-体质量关系一般公认用幂函数^[14]拟合,其表达式:

$$W = aL^b \quad (1)$$

式中 W 为个体体质量(g), L 为个体体长(mm), a 为生长的条件因子, b 为幂指数系数。

生长方程 在建立渔业资源评估模型时,一般用Von Bertalanffy生长方程^[15]来拟合并描述鱼类的生长:

$$L_t = L_\infty \left[1 - e^{-k(t-t_0)} \right] \quad (2)$$

$$W_t = W_\infty \left[1 - e^{-k(t-t_0)} \right]^b \quad (3)$$

式中 L_t (mm)、 W_t (g)分别表示个体在 t 龄时的体长和体质量; L_∞ (mm)、 W_∞ (g)分别表示个体的渐近体长和渐近体质量; t_0 表示理论上体长(L_t)和体质量(W_t)等于0的年龄,是一个假定的理论常数。 K 为生长曲线的平均曲率,表示趋近渐近值的相对速度。

将许氏平鲆的体长分布频率数据按时间序列输入由FAO(联合国粮食及农业组织)开发的FISAT II软件中,利用其中的ELEFAN I (electronic length frequency analysis)^[16]对生长参数 L_∞ 和 K 进行估算。

理论初始年龄 t_0 的估算参照一下Pauly经验公式^[17]:

$$\log_{10}(-t_0) = -0.3922 - 0.2752 \log_{10} TL_\infty - 1.038 \log_{10} k \quad (4)$$

其中 TL_∞ (cm)为渐近全长,通过体长-全长关系拟合获得。

鱼类的死亡 鱼类的死亡也是影响群体数量变动的主要因素。死亡系数可分为总死亡系数(Z)、捕捞死亡系数(F)和自然死亡系数(M), 三者之间的关系:

$$Z = M + F \tag{5}$$

运用FISAT II 软件中的变换体长渔获曲线法^[18], 基于许氏平鲈时间序列的体长频率分布数据来估算总死亡系数 Z 。

$$\ln(N/\Delta t) = a + bt \tag{6}$$

N 为各体长组的尾数占总渔获尾数的百分比; Δt 为相应体长组的下限生长到上限所需的时间; t 为各体长组中值所对应的年龄, 总死亡系数即为下降部分的点做回归所得斜率的负值, 即 $Z=-b$ 。

通过Pauly经验公式^[19]获得自然死亡系数 M :

$$\ln M = -0.015 2 - 0.279 \ln TL_{\infty} + 0.654 3 \ln K + 0.463 4 \ln T \tag{7}$$

其中, TL_{∞} 为渐近全长(cm), 通过体长-全长关系拟合; K 为生长曲线的平均曲率; T 为年平均表层水温($^{\circ}C$), 为各个站位实测水温的平均值。

此外, 开发率 E 指捕捞死亡系数与总死亡系数的比值, 即 $E = F/Z$ 。

资源利用状况评价 资源利用状况评价是渔业资源评估的核心, 是生长死亡参数运用的最终环节。

本实验对资源利用状况的评价基于Beverton-Holt模型得出的单位补充量渔获量(yield per recruitment, YPR)^[20]:

$$Y_W/R = FW_{\infty} e^{-M(t_c-t_t)} \sum_{r=0}^3 \frac{Q_n e^{-nk(t_c-t_0)}}{F + M + nK} \times (1 - e^{-(M+F+nK)(t_{\lambda}-t_c)}) \tag{8}$$

$(n = 0, 1, 2, 3; Q_n = 1, -3, 3, 1)$

式中 Y_W/R 为单位补充量渔获量; W_{∞} 为渐近体质量, 由体长-体质量关系求得; t_c 为开捕年龄, 根据变换渔获量曲线50%选择体长 L_{50} 计算获得^[21]; t_t 为补充年龄, 以渔获物中第一次大量捕获的体长为基础求得^[22]; t_{λ} 为渐近年龄, 本实验取值为8龄。

根据Pauly经验公式得出的参数, 带入公式(8)便可求得不同 F 和 t_c 对应下的单位补充量渔获量 Y_W/R , 使用VBA编程完成运算, 用Surfer10.0软件绘制单位补充量等渔获量曲线。

渔业管理将生物学参考点 $F_{0.1}$ 和 F_{max} 作为管

理的参考基准^[23-25]。 F_{max} 是指在当前开捕年龄下, 单位补充量渔获量达到最大值时的捕捞死亡系数。 $F_{0.1}$ 为单位补充量产量曲线的斜率为原来资源斜率的10%时对应的捕捞死亡系数。 $F_{0.1}$ 和 F_{max} 可分别根据下式求得^[26]:

$$\left. \frac{\partial(Y/R)}{\partial F} \right|_{F=F_{0.1}} = 0.1 \left. \frac{\partial(Y/R)}{\partial F} \right|_{F=0} \tag{9}$$

$$\left. \frac{\partial(Y/R)}{\partial F} \right|_{F=F_{max}} = 0 \tag{10}$$

不确定性的考量对资源评估的影响 不确定性受诸多因素的影响, 如种群的自然变化和动态信息的缺乏、参数估计统计方法的不恰当选择及模型假设误差等, 影响当前捕捞死亡系数 F_{cur} 和生物参考点BRP的估计, 使得 F_{cur} 和 F_{BRP} 中含有大量的不确定性, 有可能得出错误的评估结论和管理措施。

以生长、死亡、资源评价为基础, 将3个水平的不确定性引入到单位补充量渔获量模型, 采用蒙特卡罗模拟法估算出 F_{max} 和 $F_{0.1}$ 在不同水平下的概率分布, 绘制 F_{max} 、 $F_{0.1}$ 和 F_{cur} 的概率分布图, 通过比较来分析不确定性的影响。

把不确定性引入 F_{max} 和 $F_{0.1}$ 的步骤: (1)将生长死亡参数代入Beverton-Holt模型, 计算出体长-体质量数据的“预测值”; (2)在预测值中加入不同水平的随机误差来引入不确定性, 产生“观测值”; (3)采用一元线性参数估计法和非线性最小二乘法来估算生长参数和体长-体质量参数的“观测值”; (4)将生长、死亡参数的“观测值”重新代入到Beverton-Holt模型, 重新估算 $F_{0.1}$ 和 F_{max} 的值; (5)重复上述步骤800次, 便可获得 $F_{0.1}$ 和 F_{max} 的数据, 进而绘制 $F_{0.1}$ 、 F_{max} 、 F_{cur} 的概率分布图, 通过比较三者之间的相对位置关系, 进而得出礁区资源的利用现状^[27]。

本实验设置3个水平不确定性, 变异系数分别为0.1、0.2和0.3。用标准差乘服从正态分布的随机变量的方法产生随机误差^[27]。体长年数据模拟中, 共模拟800次; 体长-体质量数据模拟中, 对每个体长组模拟50次, 共计1 000次。

拐点年龄和临界年龄的计算 拐点年龄指体质量增长速度达到最大值时的年龄, 根据公式(11)估算:

$$t_{tp} = \ln b/K + t_0 \tag{11}$$

临界年龄 T_c 指一个世代在没有捕捞的情况下资源生物量达到最大值时的年龄, 计算公式:

$$T_c = [Kt_0 - \ln M + \ln (bK + M)] / K \quad (12)$$

统计分析，浅水域的平均体长、平均体质量频数分布较均匀(图2)。

2 结果

各水域内许氏平鲈的体长和体质量分布特征分析发现，浅水域的平均体长、平均体质量均大于中水域，深水域最小(表1)。

2.1 体长、体质量组成

对各水域内许氏平鲈的体长和体质量进行

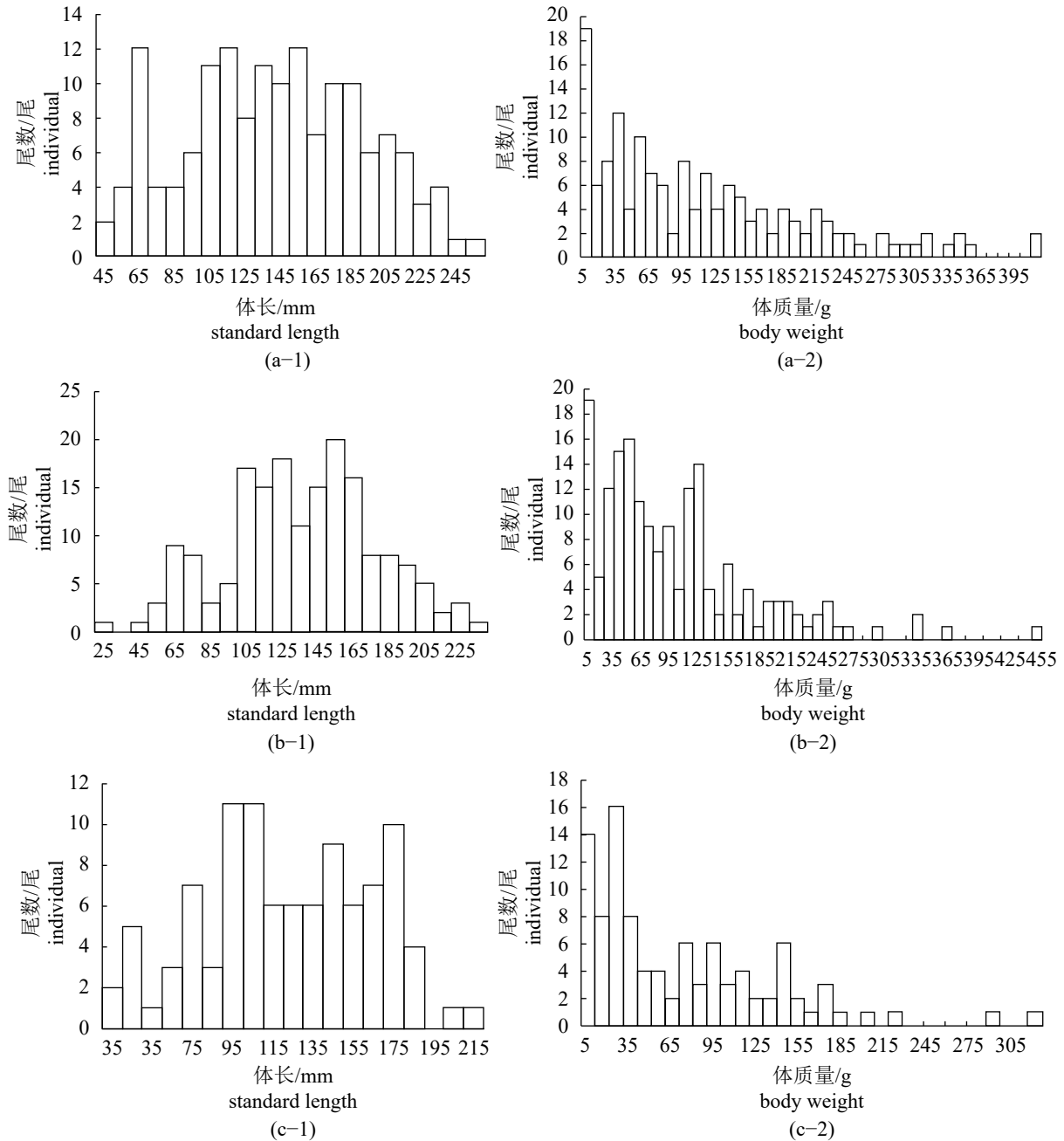


图 2 许氏平鲈在各水域对应的体长、体质量频率分布图

图中a-1、a-2为浅水域许氏平鲈体长、体质量的频率分布图；b-1、b-2为中水域体长、体质量的频率分布图；c-1、c-2为深水域体长、体质量的频率分布图

Fig. 2 Standard length and body weight frequency distributions of *S. schlegelii* in shallow, medium, deep waters

a-1 and a-2 are the frequency distribution of body length and weight of *S. schlegelii* in shallow waters; b-1 and b-2 are the frequency distribution of body length and weight in middle waters; c-1 and c-2 are the frequency distribution of body length and weight in deep waters.

表 1 各水域内许氏平鲈体长、体质量组成的统计表

Tab. 1 Statistical table of standard length and body weight composition of *S. schlegelii* in shallow, medium, deep waters

		浅水域 shallow waters	中水域 middle waters	深水域 deep waters
体长组成 standard length composition	范围/mm range	46~252	27~240	35~215
	平均值/mm mean	142.36	136.49	122.12
	优势组/mm dominant class	60~70、110~120、150~160	150~160	90~110
	占比/% percentage	23.84	11.36	24.44
体质量组成 body weight composition	范围/g range	2.22~419.10	3.47~458.56	1.02~321.93
	平均体质量/g mean	111.66	91.70	71.64
	优势组/g dominant class	0~10	0~10	20~30
	占比/% percentage	12.58	10.80	16.16

2.2 生长参数

根据公式(1)对许氏平鲈体长、体质量数据进行拟合(图3)。根据b值可知,在各水域内许氏

平鲈的生长均为正异速生长。

根据体长频率时间序列,运用ELEFAN I求得von Bertalanffy各生长参数(表2)。

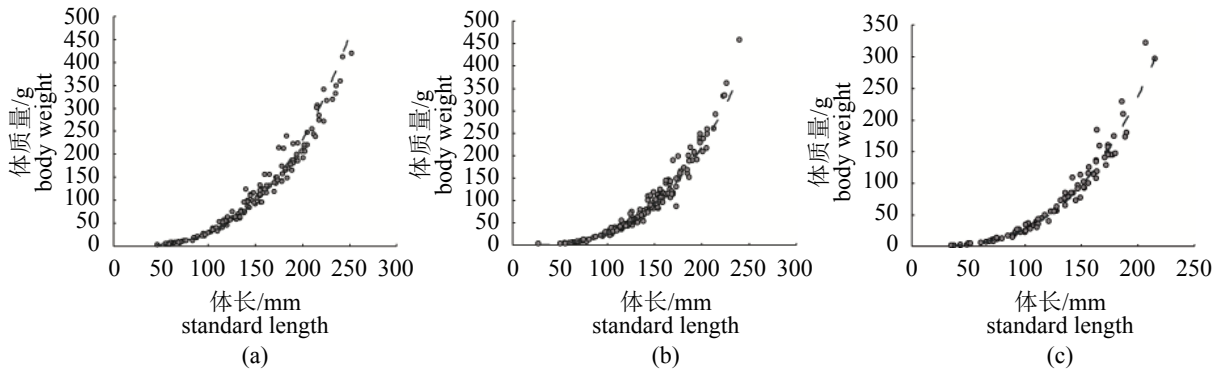


图 3 浅、中、深水域许氏平鲈体长与体质量关系图

(a)、(b)、(c)分别为浅、中、深水域许氏平鲈的体长和体质量的关系图

Fig. 3 Relationship between standard length and body weight of *S. schlegelii* in shallow, medium, deep waters

(a)、(b)、(c) are relationship between standard length and body weight of *S. schlegelii* in shallow, medium, deep waters

表 2 各水域内许氏平鲈生长参数的统计表

Tab. 2 Statistical table of growth parameters of *S. schlegelii* in shallow, medium, deep artificial reef

	浅水域 shallow waters	中水域 middle waters	深水域 deep waters
条件因子/ $\times 10^{-5}$ (a) conditional factor	2.10	2.60	1.54
生长指数 (b) growth index	3.06	3.01	3.12
样本数/尾 (n) no. of samples	151	176	99
渐近体长 mm/ (L_{∞}) asymptotic length	267.75	246.75	225.75
生长曲线平均曲率 (K) average curvature of growth curve	0.17	0.33	0.27
渐近体质量 g/ (W_{∞}) asymptotic weight	566.89	413.87	337.38
初始年龄 (t_0) initial age	-0.98	-0.50	-0.63

由上表知,浅水域许氏平鲈的生长方程为 $L_t=267.75[1-e^{-0.17(t+0.98)}]$ 、 $W_t=566.89[1-e^{-0.17(t+0.98)}]^{3.06}$; 中水域为 $L_t=246.75[1-e^{-0.33(t+0.5)}]$ 、 $W_t=413.87[1-e^{-0.33(t+0.5)}]^{3.01}$; 深水域为 $L_t=225.75[1-e^{-0.27(t+0.63)}]$ 、 $W_t=337.38[1-e^{-0.27(t+0.63)}]^{3.12}$ 。浅水域的渐近体长、渐近体质量均大于中水域,深水域最小。

ELEFAN I 基于体长频率时间序列估计的生长曲线得知,浅水域许氏平鲈的时间分布较均匀且体长分布范围最广(图4)。

2.3 死亡参数

基于许氏平鲈体长频率分布,根据FISAT模型中的体长转换渔获量曲线(length-converted catch curve)可得出回归数据点,其回归直线的斜率即为瞬时总死亡系数。

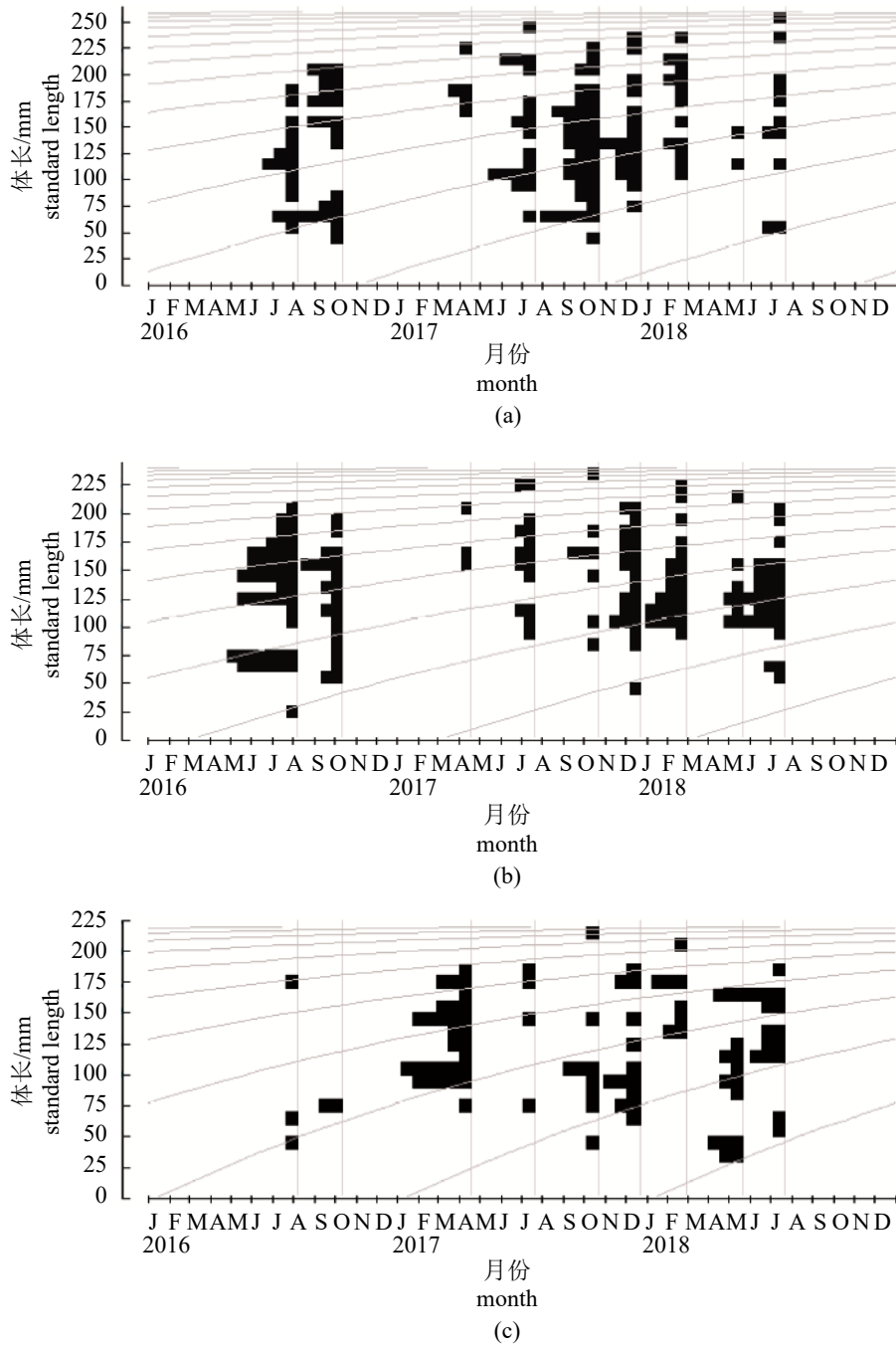


图 4 许氏平鲈体长频率时间序列和用ELEFAN I 估计的生长曲线

(a)、(b)、(c)分别为利用ELEFAN I 估算的浅、中、深水域许氏平鲈的生长曲线

Fig. 4 Standard length frequency distribution of *S. schlegelii* and growth curves estimated by ELEFAN I in shallow, medium, deep waters

(a)、(b)、(c) are growth curves of *S. schlegelii* estimated by ELEFAN I in shallow, medium, deep waters

因此，浅水域 $Z=0.49$ ， $M=0.39$ ， $F=0.1$ ；中水域 $Z=0.97$ ， $M=0.61$ ， $F=0.36$ ；深水域 $Z=0.73$ ， $M=0.53$ ， $F=0.2$ 。由此可知，中水域的自然死亡系数和捕捞死亡系数最高，且总死亡系数也最高(图5)。

2.4 资源利用评价

根据变换体长渔获曲线知浅水域许氏平鲈 L_{50} 为102 mm，即当前开捕年龄 t_c 为1.84 a；第一次被大量捕获的体长为75 mm，即补充年龄 t_r 为0.95 a。同理，中水域的 L_{50} 为93 mm， t_c 为0.93 a；

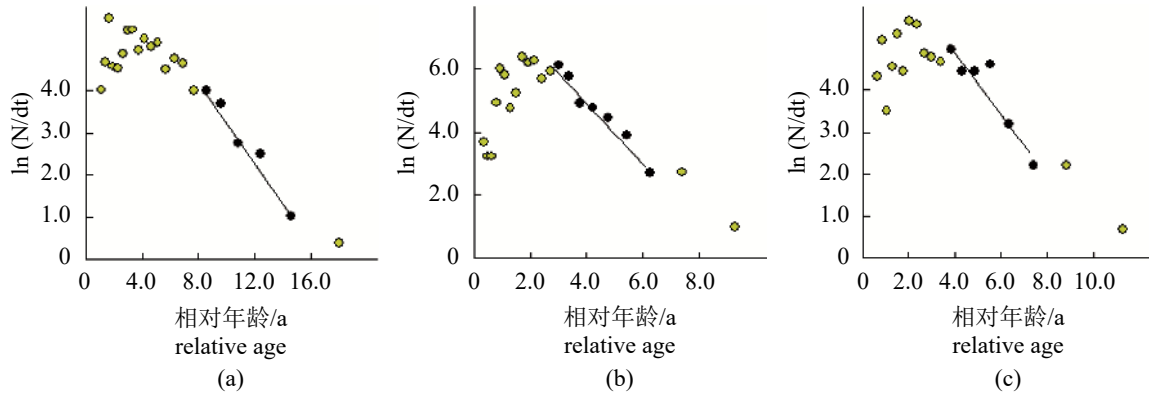


图5 根据变换体长渔获曲线估算总死亡系数

(a)、(b)、(c)、分别为浅、中、深水域许氏平鲈的变换体长渔获曲线

Fig. 5 The estimation of total mortality from length-converterd catch curve of *S. schlegelii* in shallow, medium, deep waters

(a)、(b)、(c) are length-converterd catch curves of *S. schlegelii* in shallow, medium, deep waters

第一次大量捕获的体长为75 mm, t_r 为0.59 a。深水水域的 L_{50} 为85 mm, t_c 为1.12 a; 第一次大量捕获的体长为60 mm, t_r 为0.51 a。

各水域根据B-H模型绘制的等渔获曲线中(图6), AA'均为 F 一定, t_c 变化的最大产量点连线, 即最佳 t_c 点连线; BB'均为 t_c 一定, 最大产量

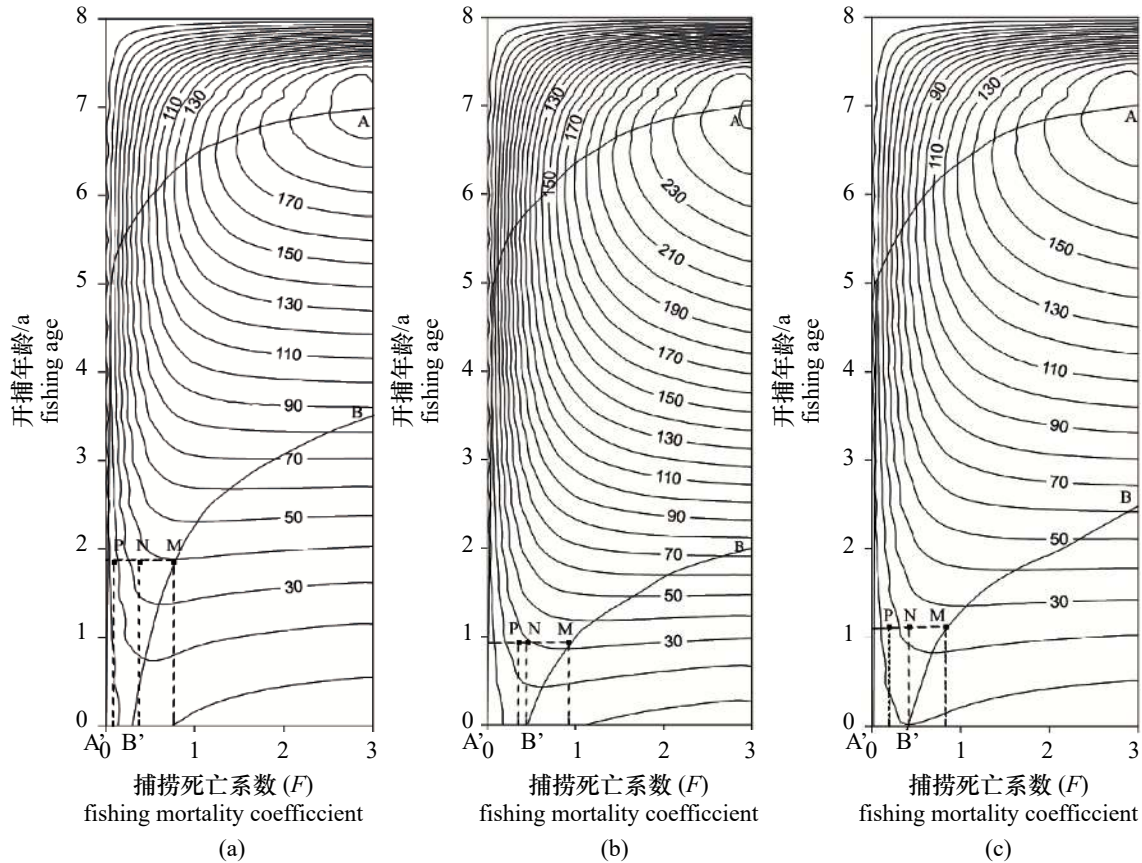


图6 浅、中、深礁区单位补充量等渔获量曲线

(a)、(b)、(c)、分别为浅、中、深水域许氏平鲈的单位补充量等渔获量曲线

Fig. 6 The Y_w/R curve of *S. schlegelii* in shallow, medium, deep artificial reefs

(a)、(b)、(c) are the Y_w/R curves of *S. schlegelii* in shallow, medium, deep artificial reefs

点连成的最佳 F 点连线,两者之间区域为最适产量区。浅水域的渔业现行点 $P(F_{\text{cur}}=0.1, t_c=1.84)$ 位于最适产量区内,其对应的 Y_w/R 为12.64 g,表明处于合理开发状态。若保持 t_c 不变,提高 $F_{\text{max}}=0.77$ 时, Y_w/R 为27.67 g;当 $F_{0.1}=0.39$ 时, Y_w/R 为25.60 g。

同理,中水域 $P(F_{\text{cur}}=0.36, t_c=0.93)$ 位于最适产量区内,其 Y_w/R 为22.13 g,表明处于合理开发状态。若保持 t_c 不变,提高 $F_{\text{max}}=0.93$ 时, Y_w/R 为26.05 g;当 $F_{0.1}=0.46$ 时, Y_w/R 为23.89 g。

深水域 $P(F_{\text{cur}}=0.2, t_c=1.12)$ 位于最适产量区内,其 Y_w/R 为12.36 g,表明处于合理开发状态。若保持 t_c 不变,提高 $F_{\text{max}}=0.84$ 时, Y_w/R 为18.21 g;当 $F_{0.1}=0.42$ 时, Y_w/R 为16.74 g。

2.5 不确定性分析

对许氏平鲉进行资源评估时,需要进行不确定性分析,其中浅水域各YPR参数的模拟结果见表3。

各水域鱼礁区 $F_{0.1}$ 和 F_{max} 基于不同水平不确定性的概率分布可以获得,随着不确定性水平提高, $F_{0.1}$ 与 F_{cur} 概率分布重叠的面积越来越大(图7)。在低水平时, $F_{0.1}$ 与 F_{cur} 的概率无重叠且位于右侧,表明 $P(F_{\text{cur}}<F_{0.1})=100\%$,即资源处于合理开发状态。在中水平时, $F_{0.1}$ 的分布变缓变宽,与 F_{cur} 有了交集,出现了 $F_{\text{cur}}>F_{0.1}$ 的可能;在高水平时, $F_{0.1}$ 的分布继续变缓变宽,重叠面积增大,但 $P(F_{0.1}>F_{\text{cur}})$ 仍十分接近100%,表明高水平不确定性对资源评估结果影响较小。 F_{max} 的概率分布趋势相似,不确定性对资源评估的影响也较小。

通过对 $F_{0.1}$ 、 F_{max} 和 F_{cur} 的分析,在浅、深水域中,不确定性对 $F_{0.1}$ 和 F_{max} 的影响较小。但在中水域中,低水平不确定时 $F_{0.1}$ 和 F_{cur} 有了较大的交集,当高水平不确定性时, $P(F_{\text{cur}}>F_{0.1})>70\%$,表明当前捕捞死亡系数较高,不确定性对资源评估的影响较大,但是都不足以与 F_{cur} 重叠,表明资源仍处于合理开发状态。

由上述分析可知,在低、中、高不确定性水平下, $F_{0.1}$ 和 F_{max} 进行资源评估时与无不确定条件下得出的结论一致,但是, F_{max} 使资源量更不容易判定为过度开发,不利于许氏平鲉渔业资源的可持续利用和正确评价。由此可知,在不确定性的影响下,生物学参数 $F_{0.1}$ 比 F_{max} 更适

表3 各个参数在三种不确定水平上的统计总表

Tab. 3 Summary statistics of related parameters at three levels of uncertainty

		平均值 mean	标准差 standard deviation	置信上限 upper limit	置信下限 lower limit
L_{∞}	高不确定性	269.77	78.53	275.22	264.32
	中不确定性	269.10	52.35	272.73	265.46
	低不确定性	268.42	26.18	270.24	266.61
K	高不确定性	0.171	0.050	0.175	0.168
	中不确定性	0.171	0.033	0.173	0.169
	低不确定性	0.170	0.017	0.172	0.169
t_0	高不确定性	-0.987	0.287	-0.967	-1.007
	中不确定性	-0.985	0.192	-0.972	-0.998
	低不确定性	-0.983	0.096	-0.976	-0.989
a	高不确定性	6.98×10^{-4}	1.99×10^{-4}	7.12×10^{-4}	6.84×10^{-4}
	中不确定性	1.03×10^{-4}	1.16×10^{-5}	1.04×10^{-4}	1.02×10^{-4}
	低不确定性	3.17×10^{-5}	1.98×10^{-6}	3.18×10^{-5}	3.15×10^{-5}
b	高不确定性	2.368	0.049	2.371	2.364
	中不确定性	2.745	0.022	2.747	2.744
	低不确定性	2.980	0.013	2.981	2.979
M	高不确定性	0.393	0.114	0.401	0.385
	中不确定性	0.392	0.076	0.397	0.387
	低不确定性	0.391	0.038	0.394	0.388
F_{max}	高不确定性	0.776	0.226	0.792	0.760
	中不确定性	0.774	0.151	0.784	0.763
	低不确定性	0.772	0.075	0.777	0.767
$F_{0.1}$	高不确定性	0.393	0.114	0.401	0.385
	中不确定性	0.392	0.076	0.397	0.387
	低不确定性	0.391	0.038	0.394	0.388
F_{cur}	高不确定性	0.101	0.029	0.103	0.099

合作为评价指标。

2.6 生长拐点和临界年龄

根据公式求得,浅水域 t_{tp} 为5.60 a,拐点体长为180.27 mm; T_c 为4.01 a,临界体长为152.92 mm。同理,中水域 t_{tp} 和拐点体长为2.84 a和163.71 mm; T_c 和临界体长为2.43 a和151.99 mm。深水域 t_{tp} 和拐点体长为3.58 a和153.70 mm; T_c 和临界体长为2.89 a和138.71 mm。

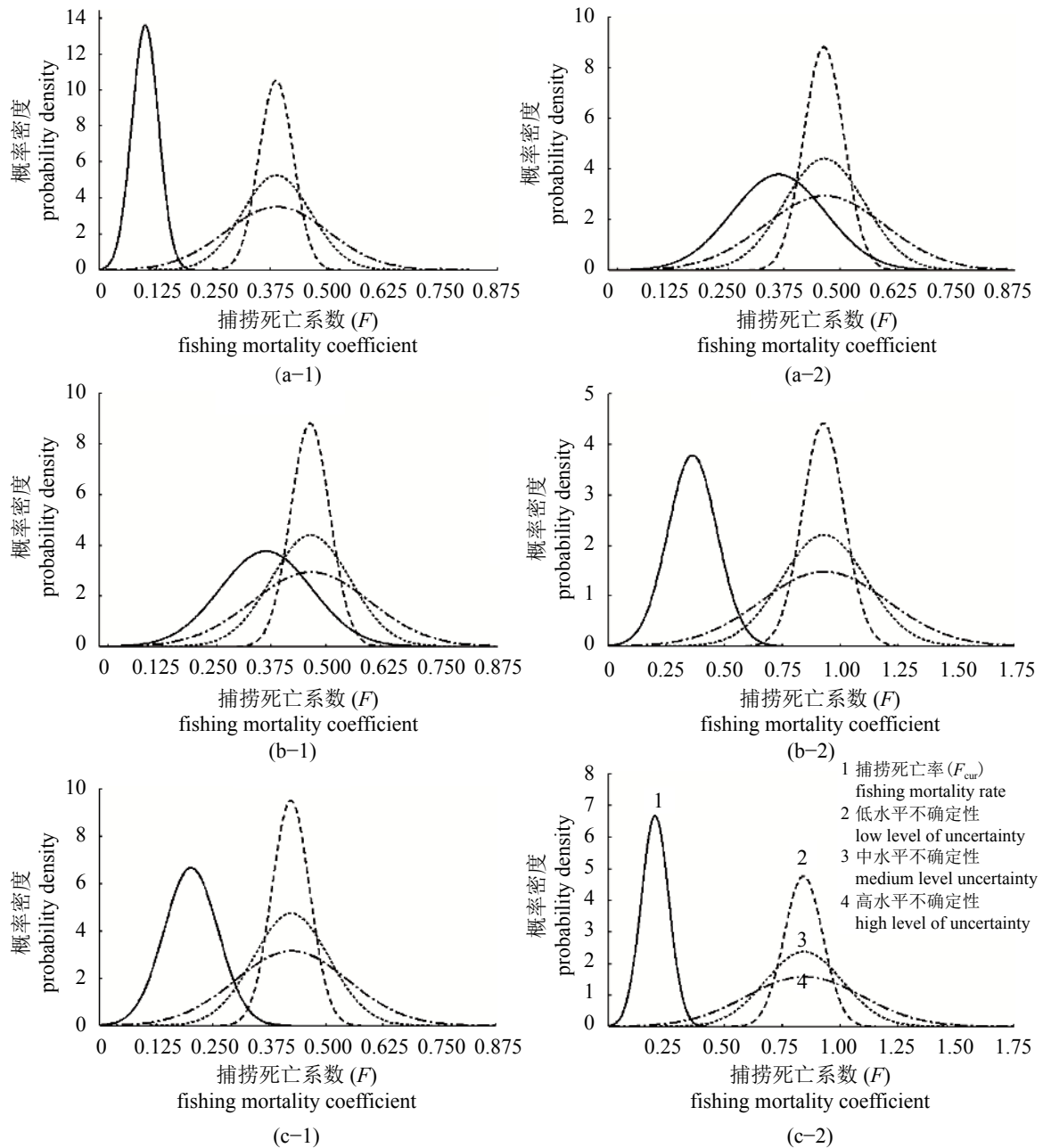


图7 浅、中、深礁区 $F_{0.1}$ 和 F_{max} 在3个不确定水平下的概率分布

a-1、b-1、c-1. 表示 $F_{0.1}$, a-2、b-2、c-2表示 F_{max} ; a-1、a-2为浅水域 $F_{0.1}$ 和 F_{max} 在三个不确定水平下的分布, b-1、b-2和c-1、c-2分别为中水域和深水域 $F_{0.1}$ 和 F_{max} 在三个不确定水平下的分布

Fig. 7 The probability distribution of $F_{0.1}$ and F_{max} at three levels of uncertainty in shallow, medium, deep artificial reefs

a-1, b-1, c-1 represent the $F_{0.1}$, a-2, b-2, c-2 represent the F_{max} ; a-1 and a-2 show the distribution of $F_{0.1}$ and F_{max} in shallow waters at three uncertain levels, while b-1, b-2, c-1 and c-2 show the distribution of $F_{0.1}$ and F_{max} in middle waters and deep waters at three uncertain levels

3 讨论

3.1 生长参数和死亡参数

在西霞口各水深礁区中, 浅水域许氏平鲈的平均体长、平均体质量、渐近体长和渐近体质量均大于中水域, 深水域最小, 表明浅水域

许氏平鲈资源的生长状况最好。鱼礁表面附着物及周边浮游生物为许氏平鲈提供饵料, 鱼礁间的空隙为鱼类提供避敌和栖息场所。

中水域的总死亡系数、自然死亡系数和捕捞死亡系数均大于深水域, 浅水域最小, 表明西霞口礁区中水域的许氏平鲈死亡率最高。

3.2 资源现状与管理

Gulland^[28]认为, E 介于0~0.5的资源群体属于轻度开发, 介于0.5~1的属于过度开发。若以此标准来判断, 其开发率(0.2、0.27、0.37)均处于轻度开发状态。从生物学角度看, $F_{0.1}$ 和 F_{max} 是渔业资源评估中常用的参考点。各水域中 $F_{cur} < F_{0.1} < F_{max}$, 表明不论以 $F_{0.1}$ 还是 F_{max} 为参考点, 均处于合理开发状态。

通过单位补充量渔获量曲线可知, 浅、中和深水水域均位于最适产量区, 但仍可通过提高捕捞强度, 使 Y_w/R 达到更大值。从以上分析中, 生物参考点和Gulland分析得出一致结论, 各水域资源均处于合理开发状态。

临界年龄前资源生物量逐渐增加, 其后则逐渐下降, 因此西霞口开发许氏平鲈应在生物量下降之前, 即临界年龄分别为浅水域4.01 a, 中水域2.43 a和深水水域2.89 a之前, 对应体长分别为152.92、151.99和138.71 mm。

3.3 不确定性分析

有学者在评估东海白带鱼 (*Strongylocentrotus droebachiensis*)^[27]、北部湾二长棘鲷 (*Parargyrops edita*)^[29]时提出, 在不确定性影响下, $F_{0.1}$ 比 F_{max} 更稳定。在本研究中, $F_{cur} < F_{0.1} < F_{max}$, $F_{0.1}$ 明显小于 F_{max} , 若以 F_{max} 为评价指标, 则资源更难以判定为过度开发, 导致资源的衰退, 故采用 $F_{0.1}$ 作为评价指标更合适, 与之前学者研究结论相一致。

本研究取样时间四季均有覆盖, 借助SPSS分析软件对季节间许氏平鲈的个体大小进行分析, 结果无显著性差异。本研究在一定程度上也存在样本量不足的情况, 调查范围和研究对象可以进一步扩大, 能更好的指导渔业的可持续发展。

4 结语

本研究表明, 礁区的许氏平鲈资源处于合理开发状态, 鱼礁的投放对渔业资源起到一定的保护作用。通过单位补充量渔获量和Gulland分析结果一致, 表明渔业资源处于合理的开发状态, 且 $F_{0.1}$ 更适合作为评价指标, 对西霞口鱼礁区内的许氏平鲈资源而言, 可适当提高捕捞强度, 来增加渔获物产量, 更利于渔业资源和经济的发展。

参考文献:

[1] 于广成, 张杰东, 王波. 我国人工鱼礁开发建设的现状

与前景[J]. 渔业现代化, 2005(6): 6-7.

Yu G C, Zhang J D, Wang B. Current situation and prospects of artificial reef development and construction in China[J]. *Fishery Modernization*, 2005(6): 6-7(in Chinese).

[2] 朱龙, 隋风美. 许氏平鲈的生物学特征及其人工养殖[J]. 现代渔业信息, 1999, 14(4): 21-25.

Zhu L, Sui F M. Biology and artificial culture of *Sebastes schlegelii* Hilgendorf[J]. *Modern Fisheries Information*, 1999, 14(4): 21-25(in Chinese).

[3] 刘阳, 韩慧宗, 王腾腾, 等. 许氏平鲈体质量与形态性状的表型特征分析[J/OL]. 渔业科学进展, 2018, 1-10.

Liu Y, Han H Z, Wang T T, et al. Phenotypic analysis between the main morphological traits and body weight of block rockfish (*Sebastes schlegelii*)[J/OL]. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 1-10. (in Chinese).

[4] 吴忠鑫, 张磊, 张秀梅, 等. 荣成俚岛人工鱼礁区游泳动物群落特征及其与主要环境因子的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(21): 6737-6746.

Wu Z X, Zhang L, Zhang X M, et al. Nekton community structure and its relationship with main environmental variables in Lidao artificial reef zones of Rongcheng[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(21): 6737-6746(in Chinese).

[5] 刘鸿雁, 吕洪斌, 张沛东, 等. 人工鱼礁模型和大型海藻对许氏平鲈和大泷六线鱼幼鱼的诱集作用[J]. 水产学报, 2018, 42(1): 48-59.

Liu H Y, Lv H B, Zhang P D, et al. Attraction effect of artificial reef model and macroalgae on juvenile *Sebastes schlegelii* and *Hexagrammos otakii*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(1): 48-59(in Chinese).

[6] 张宗航, 董建宇, 张雪梅, 等. 环境丰容对早期发育阶段许氏平鲈趋礁行为的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(22): 8223-8233.

Zhang Z H, Dong J Y, Zhang X M, et al. Effects of environmental enrichment on the distribution of *Sebastes schlegelii* in early developmental stages[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(22): 8223-8233(in Chinese).

[7] 王新萌, 唐衍力, 孙晓梅, 等. 威海小石岛人工鱼礁海域渔获物群落结构特征及其与环境因子相关性[J]. 海洋科学, 2016, 40(11): 34-43.

Wang X M, Tang Y L, Sun X M, et al. Catch community structure characteristics and their relationships with environmental factors in the Xiao Shidao artificial reef sea area of Weihai[J]. *Marine Sciences*, 2016, 40(11): 34-43(in Chinese).

[8] 唐衍力, 孙晓梅, 盛化香, 等. 威海小石岛人工鱼礁区

- 渔获物组成特征及与环境因子的关系[J]. 中国海洋大学学报, 2016, 46(5): 22-31.
- Tang Y L, Sun X M, Sheng H X, *et al.* Community structure of catch and its relationship with environmental factors in Xiaoshidao artificial reef zones of Weihai city[J]. Periodical of Ocean University of China, 2016, 46(5): 22-31(in Chinese).
- [9] 唐衍力, 白怀宇, 盛化香, 等. 海州湾前三岛鱼礁区许氏平鲈的分布及YPUE与近礁距离的关系[J]. 中国海洋大学学报, 2016, 46(11): 151-157.
- Tang Y L, Bai H Y, Sheng H X, *et al.* Relationships between distribution of *Sebastes schlegelii*, its YPUE and distance off artificial reef around Qiansan Island of Haizhou Bay[J]. Periodical of Ocean University of China, 2016, 46(11): 151-157(in Chinese).
- [10] 庄龙传, 叶振江, 李军. 青岛近海许氏平鲈年龄与生长特性的研究[J]. 中国海洋大学学报, 2015, 45(8): 32-37.
- Zhuang L C, Ye Z J, Li J. Age and growth studies of *Sebastes schlegelii* in Qingdao coastal waters[J]. Periodical of Ocean University of China, 2015, 45(8): 32-37(in Chinese).
- [11] 王佳琦, 刘淑德, 唐衍力, 等. 山东俚岛人工鱼礁区大泷六线鱼生长、死亡及资源评价[J]. 中国海洋大学学报, 2018, 48(11): 51-59.
- Wang J Q, Liu S D, Tang Y L, *et al.* Growth, mortality and resource evaluation of *Hexagrammos otakii* inhabiting the artificial reef area of Lidao, Shandong province[J]. Periodical of Ocean University of China, 2018, 48(11): 51-59(in Chinese).
- [12] Yin Z Q, Lu W Q, Chen Y, *et al.* Growth characteristics and resource evaluation of *Sebastes schlegelii* in Zhangzidao artificial reef area[J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2016, 8(3): 186-188.
- [13] 国家海洋局. GB/T 12763.6-2007海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- State Oceanic Administration. GB/T 12763.6-2007 Specifications for oceanographic survey-Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: China Standard Press, 2008(in Chinese).
- [14] Ricker W E. Linear regressions in fishery research[J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1973, 30(3): 409-434.
- [15] Memon A M, Liu Q, Baloch W A, *et al.* Growth parameters and mortality rates of giant river-catfish *Sperata seenghala* from the Indus river, Pakistan[J]. Indian Journal of Geo Marine Sciences, 2017, 46(7): 1462-1469.
- [16] Pauly D. ELEFAN I : User's instruction and program listings[M]. Manila: ICLARM, 1980.
- [17] Pauly D. Gill size and temperature as governing factors in fish growth: a generalization of Von Bertalanffy's growth formula[C]//Berichte aus dem Institut für Meereskunde. Kiel: Univerity Kiel, 1979: 121-123.
- [18] Pauly D. Length-converted catch curves: a powerful tool for fisheries research in the tropics (part 1)[J]. Fishbyte, 1983, 1(2): 9-13.
- [19] Pauly D. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1980, 39(2): 175-192.
- [20] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 18-46, 124-130.
- Zhan B Y. Fishery Resources Assessment[M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 1995: 18-46, 124-130(in Chinese).
- [21] 何宝全, 李辉权. 珠江河口棘头梅童鱼的资源评估[J]. 水产学报, 1988, 12(2): 125-134.
- He B Q, Li H Q. Stock assessment of *Collichthys lucidus* in Pearl River Estuary[J]. Journal of Fisheries of China, 1988, 12(2): 125-134(in Chinese).
- [22] 王雪辉, 邱永松, 杜飞雁. 珠江口水域鳙鱼生长和死亡参数估算[J]. 热带海洋学报, 2004, 23(4): 42-48.
- Wang X H, Qiu Y S, Du F Y. Estimation of growth and mortality parameters of Chinese herring (*Ilisha elongata*) in Zhujiang River Estuary[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2004, 23(4): 42-48(in Chinese).
- [23] 童玉和, 陈新军, 田思泉, 等. 渔业管理中生物学参考点的理论及其应用[J]. 水产学报, 2010, 34(7): 1040-1050.
- Tong Y H, Chen X J, Tian S Q, *et al.* Theory and application of biological reference points in fisheries management[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(7): 1040-1050(in Chinese).
- [24] Deriso R B. Optimal $F_{0.1}$ Criteria and their relationship to maximum sustainable yield[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1987, 44(S2): S339-S348.
- [25] Overholtz W J. Precision and uses of biological reference points calculated from stock recruitment data[J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 1999, 19(3): 643-657.
- [26] Jiao Y, Chen Y, Wroblewski J. An application of the composite risk assessment method in assessing fisheries stock status[J]. *Fisheries Research*, 2005, 72(2-3): 173-183.

- [27] 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.
Cao S P, Liu Q. Stock assessment of the hairtail (*Trichiurus haumela*) fishery in the East China Sea by incorporating uncertainty into the estimation of the biological reference points $F_{0.1}$ and F_{max} [J]. *South China Fisheries Science*, 2007, 3(2): 42-48(in Chinese).
- [28] Gulland J A. Fish Stock Assessment: a manual of basic method[M]. New York: FAO/Wiley, 1985: 223.
- [29] 朱立新, 李丽芳, 梁振林. 不确定性对北部湾二长棘鲷渔业资源评估影响的模拟研究[J]. *广东海洋大学学报*, 2009, 29(1): 36-43.
Zhu L X, Li L F, Liang Z L. A simulation study of impacts of uncertainty on the assessment of the Crimson Sea Bream (*Paragyrops edita*) fishery in Beibu Gulf[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2009, 29(1): 36-43(in Chinese).

Growth, mortality and reasonable utilization of *Sebastes schlegelii* in the artificial reef area of Weihai, Shandong Province

ZHANG Mengmeng, LIU Yue, XIE Tao, CHEN Wenlei, TANG Yanli*

(College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: The artificial reefs are an important part of the marine ranching. *Sebastes schlegelii* which occurs in the coastal waters of China, including Yellow Sea and East China Sea, is a delicious seafood and has great economic value. We studied the resource status of *S. schlegelii* in different reef areas, such as growth, mortality and utilization of resources assessment, based on the cage questionnaire data in Weihai artificial reef area, Shandong province, from 2016 to 2018, by the means of ELEFAN, length-converted catch curve, Y_w/R curve and the biologic reference points. And uncertainty was incorporated into the estimation of the biological reference points $F_{0.1}$ and F_{max} by Monte Carlo simulation. The results of the first study on the resources of reef areas at different depths showed that the average body length, average weight, asymptotic body length and asymptotic weight of the *S. schlegelii* in shallow water areas were greater than those in the middle waters, and the deep water areas were the smallest, indicating that the artificial reefs in shallow water areas were more conducive to the protection of fishery resources. The fishing mortality coefficient and the natural mortality coefficient in the middle water area were greater than the deep water area, the shallow water area was the smallest. It is the first time to apply biological reference points $F_{0.1}$, F_{max} and uncertainty analysis to the resource assessment of different depths of reef area. The result showed that the judgment results of F_{BRP} at the three uncertainty levels were consistent with the none uncertainty, but the value of F_{max} was far greater than $F_{0.1}$, making it more difficult to judge the amount of reef resources as overexploitation. Therefore $F_{0.1}$ is more suitable for the evaluation of *S. schlegelii*. In combination with Gulland's theory, biological reference points and yield per recruitment, reef resources were under the mild exploitation, and fishing intensity can be appropriately enhanced to increase catch yield. Shallow waters can be increased to $F=0.39$, and $Y_w/R=25.60$, corresponding fishing age is 1.83 a. The middle water area can be increased to $F=0.46$, $Y_w/R=23.89$ and fishing age 0.93 a, respectively. Deep water area can be increased to $F=0.42$, and $Y_w/R=16.74$ corresponding to a fishing age of 1.12 a.

Key words: *Sebastes schlegelii*; resource status; Beverton-Holt model; biological reference points; artificial reef area in Xixiakou

Corresponding author: TANG Yanli. E-mail: tangyanli@ouc.edu.cn

Funding projects: Innovation Program for Marine and Fishery science and Technology of Shandong Province (2017HYCX007)