



山东近海口虾蛄单位补充量渔获量评估

刘逸文¹, 张崇良^{1*}, 刘淑德², 王四杰², 任一平^{1,3}

(1. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 山东省水生生物资源养护管理中心, 山东 烟台 264003;

3. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266237)

摘要: 为完善口虾蛄的基础生物学资料, 并为口虾蛄资源的管理提供科学指导和理论依据, 本研究根据2016至2017年山东近海渔业资源底拖网调查获得的口虾蛄体长、体质量数据, 估算了口虾蛄的生长、死亡参数, 构建了基于体长结构的单位补充量渔获量(YPR)模型, 研究口虾蛄的资源动态和管理策略。采集调查口虾蛄样品共5 028尾, 体长—体质量关系的表达式为 $W=0.014 5L^{2.88}$, 为负异速生长; 使用ELEFAN方法估算出口虾蛄的渐进体长 L_{∞} 为19.87 cm, 生长速率 K 为 $0.62 a^{-1}$ 。口虾蛄的生长表现出明显的季节性变化规律, 生长参数的季节振幅 C 为0.76, 10月份生长最快, 4月份生长最慢。通过体长转换的渔获曲线估算出口虾蛄的总死亡系数 Z 为 $3.24 a^{-1}$, 根据不同方法估算自然死亡系数 M 的范围为 $0.75\sim 1.27 a^{-1}$, 捕捞死亡系数 F 的估算范围为 $1.96\sim 2.49 a^{-1}$, 开发率的均值为0.67。YPR模型结果显示, 随着 F 增大, YPR值呈现先上升后下降的趋势, 生物学参考点 $F_{0.1}$ 和 F_{max} 的值分别为 $0.92a^{-1}$ 和 $1.88a^{-1}$ 。口虾蛄资源处于过度开发的状态, 应降低捕捞压力, 同时调整开捕体长, 以维持口虾蛄渔业资源量和渔获量。

关键词: 口虾蛄; 单位补充量渔获量; 生物学参考点; 季节性生长; 山东近海

中图分类号: S 932.5

文献标志码: A

口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)为多年生底栖甲壳类, 广泛分布于我国近海海域^[1-2], 繁殖能力较强^[3-4], 资源量较大, 是我国重要的经济渔种。随着传统渔业资源逐渐衰退, 口虾蛄的捕捞压力逐渐增大, 根据2011—2016年度渔业统计年鉴, 其年产量约为29万t, 其中山东捕捞产量约5.6万t, 占总捕捞产量的19.3%。然而由于长期高强度开发, 山东近海口虾蛄的产量已呈现下降趋势。目前, 有关口虾蛄的研究多集中于生长、繁殖、摄食、资源分布等领域^[1-6], 关于对其生物学参数、种群动力学的认识等方面的研究较少, 导致口虾蛄资源的开发利用缺乏科学支撑和有效管理。

单位补充量渔获量(yield per recruitment, YPR)模型基于Beverton-Holt动态综合模型, 其主要功能为评估生长型过度捕捞^[7]和估算相关生物学参考点, 并提出管理建议(如网目尺寸)等^[8-9], 近些年在国内已有了广泛应用^[10-12]。本研究根据2016—2017年山东近海4个航次渔业资源调查, 测量口虾蛄样品的体长、体质量, 计算其生长、死亡参数, 并构建基于体长结构的单位补充量渔获量模型, 估算相应的生物学参考点和最适开捕规格, 旨在完善口虾蛄的基础生物学资料, 为口虾蛄资源的管理提供科学指导和理论依据。

收稿日期: 2018-12-24 修回日期: 2019-04-25

资助项目: 国家自然科学基金(31802301)

通信作者: 张崇良, E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn

1 材料与amp;方法

1.1 数据来源

研究样品来自2016年10月、2017年1月、5月和8月在山东近海进行的渔业资源底拖网调查,调查海域范围为 $118^{\circ}20' \sim 123^{\circ}50' E$, $35^{\circ}00' \sim 38^{\circ}30' N$,共设置177个站位(图1)。调查船为单拖底拖网渔船,主机功率为220 kW,平均拖速为3 kn,拖网时间1 h。拖网渔获物冷冻保存,带回实验室进行体长、体质量等生物学测量,多于50尾的站位随机选取50尾测量,不足50尾的全部测量。本研究采集到口虾蛄样品共5 028尾,体长范围为2.8~17.6 cm。

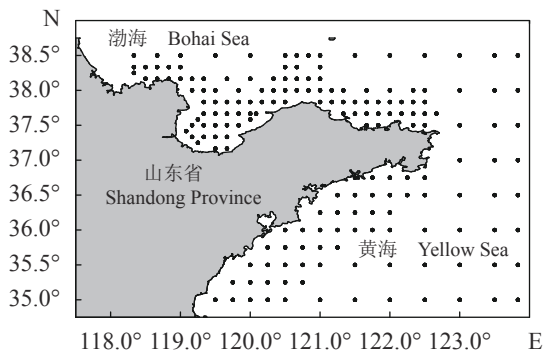


图1 山东近海渔业资源底拖网调查站位图

Fig. 1 Map of bottom trawl survey stations of fishery resources in coastal waters of Shandong

1.2 生物学分析

生长参数 本研究中体长—体质量关系的表达式:

$$W = aL^b$$

式中, W 为总体质量(g), L 为体长(cm), a 为条件因子, b 为异速生长参数。

由于口虾蛄等甲壳类年龄鉴定困难,因此一般研究中使用基于体长频率的方法估算生长参数。然而,口虾蛄的生长规律与鱼类不同,呈现周期性蜕壳—生长节律,因此一般的生长方程较难拟合口虾蛄生长速率的变化。本研究考虑到口虾蛄生长的季节性变化^[5],使用季节性生长方程^[13]:

$$L_t = L_{\infty} \left[1 - e^{-K(t-t_0) - \left(\frac{CK}{2\pi}\right)(\sin 2\pi(t-t_s) - \sin 2\pi(t_0-t_s))} \right]$$

式中, L_t 为年龄为 t 龄时的平均体长(cm), L_{∞} 为渐进体长(cm), K 为生长速率(a^{-1}), t_0 为体长为零时的理论年龄, t_s 为夏季节点,表示一年中生长最

快的时间, C 表示季节性生长的振幅强度。本研究以1 cm为间隔,将口虾蛄样品划分为16个体长组,使用ELEFAN(electronic length frequency analysis)方法^[14]估算生长参数 L_{∞} 、 K 、 C 、 t_s ,并根据Pauly经验公式^[15]估算理论初始年龄 t_0 。

死亡参数 利用体长转换的渔获曲线(length converted catch curves)计算总死亡系数(Z)^[16]:

$$\ln(N_t/\Delta t) = a + bt'$$

式中, N_t 为 t 体长组的尾数,体长组的划分同“生长参数”, Δt 为相应体长组下限生长到上限所需的时间, t' 为相应体长组对应的相对年龄(years- t_0),用于拟合的数据点的选取以“未全面补充年龄段和接近渐进体长年段不能用来回归”为原则^[11, 16],拟合曲线斜率的相反数($-b$)即为总死亡系数(Z)。根据渔获曲线方程推算线性回归中未被使用的各点对应的期望值 $\ln(N_t/\Delta t)$,计算每个点的观测值与期望值之比,即为对应的捕捞选择性系数(S)^[17], S 为0.5时对应的体长即为开捕体长(L_{50})。捕捞选择性与体长的关系使用逻辑斯第模型表示:

$$S_j = \frac{1}{1 + e^{-r(L_j - L_{50})}}$$

式中, L_j 、 S_j 分别表示体长及对应的选择性, L_{50} 为开捕体长, r 为常数。

自然死亡系数较难评估,一般采用经验公式的方法进行概算,而相关方法估算的准确度尚未有定论。考虑到不同方法可靠性的差别,本研究使用8种常见方法估算自然死亡系数(M) (表1),根据其估值的变化范围和平均值设置本研究中的参数。经验公式中 T 为生长环境的平均水温,根据本次调查数据,山东近海的底层平均水温设为 $14.92^{\circ}C$, T_{max} 为最大年龄,根据相关文献设为4龄^[2]。

捕捞死亡系数(F)根据总死亡系数与自然死亡系数之差求得: $F = Z - M$,开发率(E)根据捕捞死亡系数与总死亡系数的比值求得: $E = F/Z$ 。

1.3 YPR模型

YPR模型基于Beverton-Holt动态综合模型,反映了补充量恒定条件下产量与捕捞强度的关系。传统YPR模型通常基于年龄结构,但在实际应用中存在某些种类的年龄鉴定或数据获取成本较大等困难,因此模型受到一定限制;体长数据较易获取,可用于构建YPR模型^[9, 25-26]。

表 1 口虾蛄自然死亡系数的估算方法

Tab. 1 Natural mortality estimators for *O. oratoria*

方法 methods	公式 equation	输入参数 input parameter	自然死亡系数 <i>M</i>	文献 reference
1	$\lg M = -0.0066 - 0.2790 \lg L_\infty + 0.6543 \lg K + 0.4634 \lg T$	$L_\infty = 19.87, K = 0.62, T = 14.92$	1.09	[18]
2	$M = 4.6/T_{\max}$	$T_{\max} = 4$	1.15	[19]
3	$M = -\ln P/T_{\max}$	$T_{\max}^{\max} = 4, P = 0.05$	0.75	[20]
4	$M = 3K/(e^{0.38K T_{\max}} - 1)$	$K = 0.62, T_{\max} = 4$	1.19	[21]
5	$M = bK/[e^{K(0.393 T_{\max} - t_0)} - 1]$	$b = 2.88, K = 0.62, T_{\max} = 4, t_0 = -0.59$	1.27	[21]
6	$M = 4.31 \left(t_0 - \frac{\ln 0.05}{K} \right)^{-1.01}$	$K = 0.62, t_0 = -0.59$	1.00	[22]
7	$M = e^{-1.44 - 0.982 \ln T_{\max}}$	$T_{\max} = 4$	1.08	[23]
8	$M = 1.5K$	$K = 0.62$	0.93	[24]

注: L_∞ 为渐进体长(cm), K 为生长速率(a^{-1}), T 为水温($^{\circ}C$), P 为存活至最大年龄的概率, b 为异速生长参数, t_0 为体长为零时的理论年龄
Notes: L_∞ indicates asymptotic length (cm), K indicates growth coefficient (a^{-1}), T indicates temperature ($^{\circ}C$), P is the proportion surviving to maximum age, b indicates allometric growth parameters, t_0 is the theory age at zero length

本研究采用基于体长结构的YPR模型, 通过定义体长组 L_j , 以体长组代替年龄组构建模型:

$$d_j = L_{j+1} - L_j \tag{1}$$

$$\Delta T_j = \frac{1}{K} \ln \frac{L_\infty - L_j}{L_\infty - L_{j-1}} \tag{2}$$

$$N_j = R e^{-\sum_{k=1}^{j-1} (S_k F + M) \Delta T_k} \tag{3}$$

$$C_j = N_j \frac{S_j F}{S_j F + M} \left[1 - e^{-(S_j F + M) \Delta T_j} \right] \tag{4}$$

$$Y = \sum_{j=1}^n W_j C_j \tag{5}$$

式(1)、(2)计算 j 和 $j+1$ 体长组间的生长间隔, 其中体长组的划分不必是等间距的, 为方便计算, 本研究统一以 0.5 cm 为组距构建模型。式(3)、(4)分别计算 j 体长组的生物量和捕捞生物量, 式(5)计算捕捞产量。综合上式可得:

$$\frac{Y}{R} = \sum_{j=1}^n \left[\frac{W_j S_j F}{S_j F + M} \left(1 - e^{-(S_j F + M) \Delta T_j} \right) e^{-\sum_{k=1}^{j-1} (S_k F + M) \Delta T_k} \right] \tag{6}$$

式中, Y 为渔获量, R 为补充量, S_j 、 W_j 分别表示 j 体长组的捕捞选择性和平均重量。

本研究基于山东近海调查数据估算相关参数, 构建基于体长结构的单位补充量渔获量模型, 探讨了不同的自然死亡系数估算方法下, YPR 随 F 的变化情况, 计算了 YPR 的最大值 (YPR_{\max})

及对应的 $F(F_{\max})$, YPR 的增长率为初始 YPR 增长率 ($F=0$) 的 0.1 倍时对应的 $F(F_{0.1})$ 及 $YPR(YPR_{0.1})$, 以及 F 一定时, YPR 随开捕体长 (L_{50}) 的变化情况。

以上参数估算和模型构建均使用 R 软件 (version 3.4.4), 使用“TropFishR”包进行生长方程和渔获曲线的构建。

2 结果

2.1 生长参数

根据采集到样品的体长与体质量数据, 拟合出山东近海口虾蛄体长—体质量关系为 $W = 0.0145L^{2.88}$ ($R^2=0.93$), 其中条件因子 a 的值为 0.0145, 异速生长参数 b 的值为 2.88 (图 2), 表明口虾蛄服从负异速生长规律。

根据口虾蛄的体长频率分布, 使用 ELEFAN 方法拟合生长曲线, 估算口虾蛄的生长参数 (图 3)。经计算, 口虾蛄的渐进体长 L_∞ 为 19.87 cm, 生长速率 K 为 $0.62 a^{-1}$, 理论初始年龄 t_0 为 $-0.59 a^{-1}$, 季节性生长振幅强度 C 为 0.76, t_s 为 $0.83 a^{-1}$ 。该结果表明口虾蛄季节性生长节律明显, 生长最快时间约为 10 月份。

2.2 死亡参数与开发率

通过体长转换的渔获曲线计算口虾蛄的总死亡系数, 选取最高点右侧的 9 个数据点进行回归分析 (图 4), 所得回归曲线的斜率即总死亡系数 $Z=3.24 a^{-1}$ 。

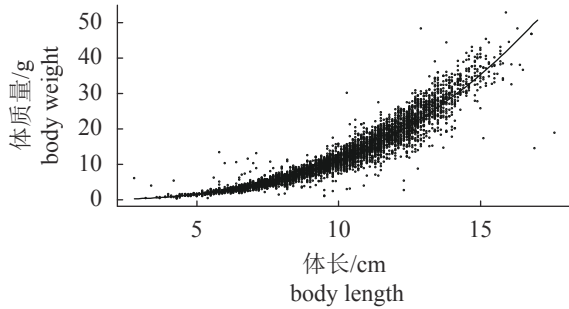


图2 山东近海口虾蛄的体长—体质量关系的拟合曲线

Fig. 2 Length-weight relationships of *O. oratoria* in coastal waters of Shandong

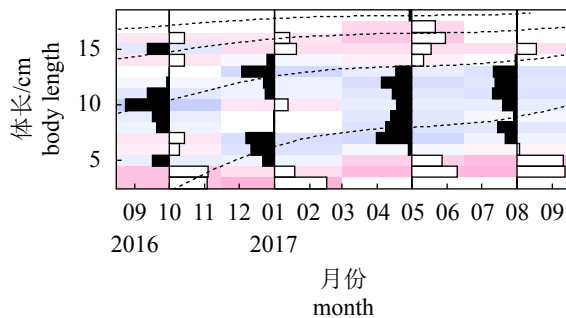


图3 山东近海口虾蛄的体长频率分布和使用ELEFAN方法拟合的生长曲线

柱形图表示经过ELEFAN方法重构的体长频率分布, 黑柱表示正峰值(高于移动平均值), 白柱表示负峰值(低于移动平均值), 虚线表示生长曲线

Fig. 3 Length frequency distributions and growth curves estimated by ELEFAN of *O. oratoria* in coastal waters of Shandong

Histogram indicates the length-frequency distribution restructured by ELEFAN, black column and white column indicated positive peak (above running average) and negative peak (below running average), respectively, dotted lines indicated growth curves

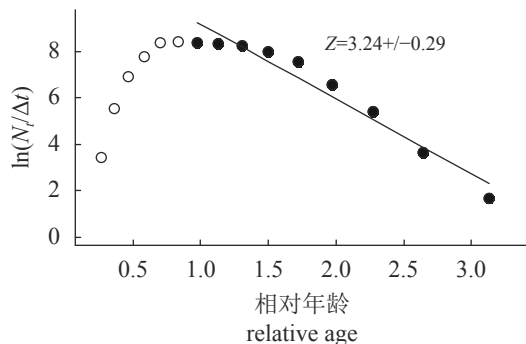


图4 山东近海口虾蛄体长转换的渔获曲线

Fig. 4 Length-converted catch curve for *O. oratoria* in coastal waters of Shandong

口虾蛄自然死亡系数(M)的估算结果如表2所示, M 的取值范围为 $0.75\sim 1.27\text{ a}^{-1}$, 均值为 1.06 a^{-1} 。捕捞死亡系数(F)根据总死亡系数与自然死亡系数的差值得求, F 的取值范围为 $1.96\sim 2.49\text{ a}^{-1}$, 均值为 2.18 a^{-1} 。开发率(E)由捕捞死亡系数和总死亡系数的比值求得, E 的取值范围为 $0.61\sim 0.77$, 均值为 0.67 。

根据渔获曲线求得现阶段山东近海口虾蛄的捕捞选择性曲线(图5), 当前开捕体长(L_{50})为 8.11 cm 。

2.3 单位补充量渔获量

本研究以 0.5 cm 体长为间隔, 构建体长结构的单位补充量渔获量(YPR)模型, 并绘制 YPR 随捕捞死亡系数(F)和开捕体长(L_{50})的趋势图。随 F 增大, YPR 呈现先上升后下降的趋势, 且 M 的值越低, 趋势越明显, 对应的 YPR 峰值越高; 随 M 估计值的增大, 在相同的捕捞压力下, YPR 值呈现下降的趋势(图6)。在不同的自然死亡系数(M)条件下, 相应的生物学参考点如表2所示, F_{\max} 的取值范围为 $1.25\sim 2.55\text{ a}^{-1}$, 对应的 YPR_{\max} 的取值范围为 $3.09\sim 5.85$, $F_{0.1}$ 的取值范围为 $0.73\sim 1.10\text{ a}^{-1}$, 对应的 $YPR_{0.1}$ 的取值范围为 $2.80\sim 5.47$ 。当 M 取平均值时, 对应的 F_{\max} 为 1.88 a^{-1} , YPR_{\max} 为 3.92 , $F_{0.1}$ 为 0.92 a^{-1} , $YPR_{0.1}$ 为 3.59 (表2)。

维持捕捞压力一定, YPR 随开捕体长的增加表现为先上升达到峰值后下降的趋势, 当前开捕体长(8.11 cm)低于获得最大 YPR 时的开捕体长(图7)。当 M 取平均值且维持现有的捕捞压力, 即 $F=F_{\text{cur}}$ 时, 调整开捕体长至 10.74 cm 可使 YPR 由 3.90 增至最大值 4.30 ; 当 F 维持在 F_{\max} 水平时, 调整开捕体长至 10.50 cm 可使 YPR 由 3.92 增至最大值 4.22 ; 当 F 维持在 $F_{0.1}$ 水平时, 调整开捕体长至 9.14 cm 可使 YPR 由 3.59 增至最大值 3.63 (图7)。

3 讨论

3.1 口虾蛄的生长

生长是影响种群动态的重要因素之一, 其中, 体长—体质量关系的参数 a 、 b 是鱼类种群的基本生物学参数, 可以反映鱼类种群的生活史特征, 并为单位补充量模型提供基本参数^[27]。条件因子 a 能够反映种群生存环境的优劣^[27], 本研究中 a 的值为 0.0145 , 相比于其他的研究结果偏低, 表明本地种群营养状态相对较差; 异速生

表 2 基于不同自然死亡系数的口虾蛄的生物学参考点

Tab. 2 Biological reference points for *O. oratoria* based on different natural mortality

方法 methods	M	F_{cur}	YPR_{cur}	F_{max}	YPR_{max}	$F_{0.1}$	$YPR_{0.1}$
1	1.09	2.14	3.76	1.98	3.76	0.95	3.44
2	1.15	2.09	3.53	2.14	3.53	1.00	3.22
3	0.75	2.49	5.42	1.25	5.85	0.73	5.47
4	1.19	2.05	3.38	2.26	3.38	1.03	3.07
5	1.27	1.96	3.07	2.55	3.09	1.10	2.80
6	1.00	2.24	4.17	1.74	4.20	0.88	3.87
7	1.08	2.15	3.80	1.95	3.81	0.94	3.49
8	0.93	2.31	4.49	1.58	4.59	0.83	4.25
均值 mean value	1.06	2.18	3.90	1.88	3.92	0.92	3.59

注: 1~8 分别表示表 1 中 8 种估算方法

Notes: 1-8 represent eight estimators respectively in Tab. 1

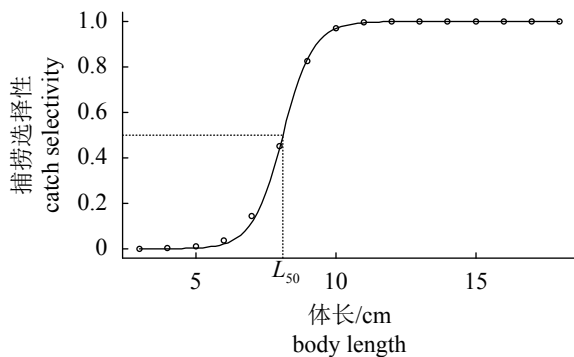


图 5 山东近海口虾蛄的捕捞选择性曲线

Fig. 5 Catch selectivity curve for *O. oratoria* in coastal waters of Shandong

长参数 b 的值为 2.88, 表明口虾蛄为负异速生长, 体长的增长速率大于体质量的增长, 这之前研究结果基本一致(表 3)。相关研究表明, 口虾蛄的体长—体质量关系及生长方程均不存在显著的雌雄差异^[5, 28], 因此本研究没有将雌雄差异纳入考虑, 参数的计算均对雌雄个体进行了合并。

由于水温变化等原因, 个体生长可能存在季节性变化, 这一现象出现在许多甲壳类动物中^[30], 使用季节性生长方程可能会更好地描述其生长模式。本研究中振幅强度 C 的值为 0.76, 说明口虾蛄生长的季节差异明显, 10 月份生长最快 ($t_s=0.83 \text{ a}^{-1}$), 4 月份生长最慢, 近乎停滞 ($t_s=0.5=0.33 \text{ a}^{-1}$), 这与实际观测结果较为一致。本研究估算的口虾蛄生长速率 K 为 0.62 a^{-1} , 与香港地区

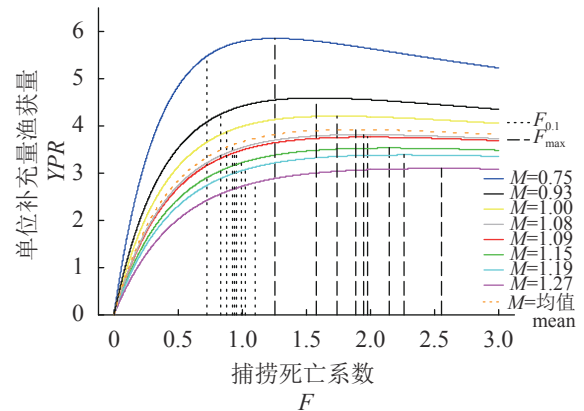


图 6 不同自然死亡系数条件下, 单位补充量渔获量随捕捞死亡系数的变化曲线

生物学参考点 $F_{0.1}$ 、 F_{max} 分别用点线和断线表示

Fig. 6 Relationship of yield-per-recruitment with fishing mortality based on different natural mortality

Biological reference points $F_{0.1}$ and F_{max} are presented in dotted lines and broken lines, respectively

口虾蛄的生长速率相比略低(表 3), 这可能是由两区域间的纬度和栖息水域环境差异造成的。

3.2 自然死亡系数的不确定性

自然死亡系数 (M) 是决定种群潜在生产力的关键因素, 显著影响资源评估的过程及结果。然而, 对自然死亡系数的准确估计往往比较困难且成本较高, 在数据有限的情况下, 通常使用一些间接的估计方法, 这些方法在实际应用中往往存在不确定性, 同时, 估算方法本身也存在不确定性^[31-32]。Hewitt 等^[32]、Gunderson 等^[33]和

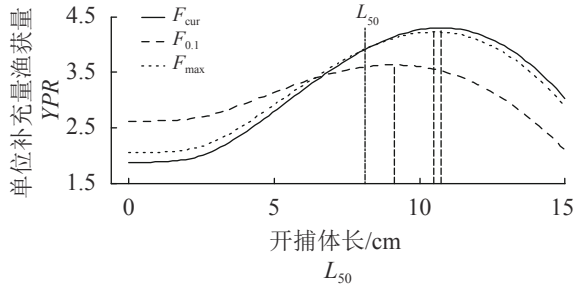


图7 不同捕捞压力下, 单位补充量渔获量随开捕体长的变化曲线

实线、断线和点线分别表示维持现有捕捞压力、维持在 $F_{0.1}$ 水平和 F_{max} 水平, L_{50} 表示当前开捕体长

Fig. 7 Relationship of yield-per-recruitment with length at first capture based on different fishing pressure

Solid lines, dotted lines and broken lines indicate maintaining current fishing pressure, $F_{0.1}$ and F_{max} , respectively. L_{50} indicates the current body length at first capture

Brodziak等^[34]提出了改善建议, 例如使用多种估算方法, 考虑 M 的置信区间、取平均值等。本研究选取8种估算方法取平均值作为 M 的参考值, 以减小估算结果可能存在的偏差。但这些经验模型往往是基于鱼类研究提出的, 目前尚未有证据表明这些方法适合于甲壳类, Hewitt等^[32]的研究证实了这些间接的估计方法在估算美洲蓝蟹(*Callinectes sapidus*)自然死亡系数时的合理性, 但口虾蛄群体还尚无定论。本研究结果显示, 这些方法的估算结果有较高的一致性, 在一定程度上说明相关估算方法的合理性。其中, 方法3表现出一定程度的偏离(表1), 即 $M = -\ln P/T_{max}$, 这可能是由于该方法假设存活至最大年龄的概率 $P=0.05$, 即有5%的个体可以达到最大年龄, 而这一假设可能不适用于口虾蛄群体。

研究表明, 自然死亡系数估算值由0.75增加至1.27时, 开发率会由0.77减少至0.61, YPR估算值由5.42减少至3.07, 减少了43%, 这表明自然死亡系数的不确定性对当前开发状况的估计有较大影响, 可能导致种群发展潜力预测的偏差^[32]。在不同的自然死亡系数条件下, 生物学参考点也存在变化, F_{max} 为1.25~2.55 a^{-1} , 因此自然死亡系数的不确定性也会对渔业管理过程产生一定影响。 $F_{0.1}$ 为0.73~1.10 a^{-1} , 变化相对较小, 说明 $F_{0.1}$ 是一个相对保守稳定的参考点^[35], 受自然死亡系数不确定性的影响相对较小。

本研究指出, 自然死亡系数的估算方法和结果目前尚存在较大的不确定性, 应作为今后的重要研究方向。在实际应用中, 需考虑到这些估算方法的不足, 进行综合比较和评估, 而不是仅选用一种估算方法。不同方法的结果表现出的一致性并不一定意味着估算结果的准确性, 对 M 的取值仍需慎重^[31]。当条件允许时, 结合直接的估计方法(例如遥感、标记重捕等)以提高估算的准确性^[32]。此外, 自然死亡系数并不是恒定的, 在个体发育的不同时期(幼体的自然死亡系数往往较高)、不同性别、不同的时空尺度上, M 存在差异^[31, 36], 这有待未来的研究。

3.3 口虾蛄资源的管理

本研究旨在为口虾蛄渔业的科学管理提供参考依据。研究结果显示口虾蛄的生物学参考点 $F_{0.1}$ 和 F_{max} 的值分别为0.92和1.88, 而当前捕捞死亡系数(F_{cur})为2.18, 表明口虾蛄资源已处在过度开发状态, 不利于资源的可持续发展。根据单位补充量渔获量模型, 降低捕捞压力至 F_{max} , YPR值基本保持不变, 因此渔业管理可以在降低捕捞强度的同时, 保持产量相对稳定。口虾蛄

表3 不同海域口虾蛄的生长参数

Tab. 3 Growth parameters of *O. oratoria* from different areas

区域 area	a	b	L_{∞} (cm)	K (a^{-1})	t_0	文献 reference
山东(2016—2017) Shandong	0.014 5	2.88	19.87(BL)	0.62	-0.59	本研究 this study
浙江(1996) Zhejiang	0.015 6	2.91				[4]
辽宁(2004—2005) Liaoning	0.020 6 ♀ 0.017 5 ♂	2.86 ♀ 2.95 ♂				[28]
香港 Hongkong			19.1(TL)	0.75	-0.16	[29]

注: BL. 体长, TL. 全长

Notes: BL. body length, TL. total length

初次性成熟体长一般认为是7~8 cm^[1, 3], 现行渔业下的开捕体长为8.11 cm, 有相当程度的未生殖群体被捕获, 这可能会影响口虾蛄群体的补充能力。本研究结果显示, 维持捕捞压力不变, 仅通过调整开捕体长(图7), 单位补充量渔获量就会有较大程度的增加, 增幅可达10%。综上所述, 降低捕捞死亡率、提高开捕体长是目前口虾蛄渔业资源管理的合理手段, 能够在降低捕捞压力的同时维持较高的渔获量。本研究建议将口虾蛄的开捕体长设置为9.5~10.5 cm, 以提高渔获产量和质量, 获取最大效益。此外, 今后的研究也还需要综合考虑生物量与产量之间的权衡, 利用单位补充量产卵群体生物量(spawning stock biomass per recruitment, SSBPR)模型、单位补充量怀卵量(egg per recruitment, EPR)模型等, 评价种群的繁殖潜力, 防止补充型过度捕捞。

参考文献:

- [1] Kodama K, Shimizu T, Yamakawa T, *et al.* Reproductive biology of the female Japanese mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* (Stomatopoda) in relation to changes in the seasonal pattern of larval occurrence in Tokyo Bay, Japan[J]. *Fisheries Science*, 2004, 70(5): 734-745.
- [2] Kodama K, Yamakawa T, Shimizu T, *et al.* Age estimation of the wild population of Japanese mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* (Crustacea: Stomatopoda) in Tokyo Bay, Japan, using lipofuscin as an age marker[J]. *Fisheries Science*, 2005, 71(1): 141-150.
- [3] 盛福利, 曾晓起, 薛莹. 青岛近海口虾蛄的繁殖及摄食习性研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2009, 39(增1): 326-332.
- Sheng F L, Zeng X Q, Xue Y. Study on propagation and feeding habits of *Oratosquilla oratoria* in the inshore waters of Qingdao[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2009, 39(Suppl.1): 326-332(in Chinese).
- [4] 王春琳, 徐善良, 梅文骥, 等. 口虾蛄的生物学基本特征[J]. *浙江水产学院学报*, 1996, 15(1): 60-62.
- Wang C L, Xu S L, Mei W X, *et al.* A biological basic character of *Oratosquilla oratoria*[J]. *Journal of Zhejiang College of Fisheries*, 1996, 15(1): 60-62(in Chinese).
- [5] Kodama K, Shiraishi H, Morita M, *et al.* Verification of lipofuscin-based crustacean ageing: seasonality of lipofuscin accumulation in the stomatopod *Oratosquilla oratoria* in relation to water temperature[J]. *Marine Biology*, 2006, 150(1): 131-140.
- [6] 孟新翔, 王晶, 张崇良, 等. 黄河口渔业资源底拖网调查采样断面数对资源量指数估计的影响[J]. *水产学报*, 2019, 43(6): 1507-1517.
- Meng X X, Wang J, Zhang C L, *et al.* Effects of sampling transect number on estimation of abundance index for bottom trawl surveys of fisheries resources in the Yellow River estuary[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(6): 1507-1517(in Chinese).
- [7] Beverton R J H, Holt S J. On the dynamics of exploited fish populations[M]. London: Chapman and Hall, 1957.
- [8] Pikitch E K. Use of a mixed-species yield-per-recruit model to explore the consequences of various management policies for the Oregon flatfish fishery[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1987, 44(2): 349-359.
- [9] Hilborn R, Walters C J. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics, and uncertainty[M]. New York: Chapman and Hall, 1992.
- [10] 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.
- Zhu J F, Qiu Y S. Growth and mortality of hairtails and their dynamic pool models in the northern South China Sea[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2005, 27(6): 93-99(in Chinese).
- [11] 高春霞, 田思泉, 戴小杰. 淀山湖刀鲚的生物学参数估算及其相对单位补充量渔获量[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(5): 1506-1512.
- Gao C X, Tian S Q, Dai X J. Estimation of biological parameters and yield per recruitment for *Coilia nasus taihuensis* in Dianshan Lake, Shanghai, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(5): 1506-1512(in Chinese).
- [12] 麻秋云, 牟秀霞, 任一平, 等. 东、黄海星康吉鳗生长、死亡和单位补充量渔获量[J]. *水产学报*, 2018, 42(6): 881-888.
- Ma Q Y, Mu X X, Ren Y P, *et al.* The growth, mortality and yield per recruitment of white-spotted conger (*Conger myriaster*) in the Yellow Sea and the East China Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(6): 881-888(in Chinese).
- [13] Somers I F. On a seasonally oscillating growth function[J]. *Fishbyte*, 1988, 6(1): 8-11.
- [14] Pauly D, David N. ELEFAN I, a BASIC program for the

- objective extraction of growth parameters from length-frequency data[J]. *Meeresforschung*, 1981, 28(4): 205-211.
- [15] Pauly D. Theory and management of tropical multispecies stocks: a review, with emphasis on the Southeast Asian demersal fisheries[M]. Metro Manila: ICLARM, 1979.
- [16] Pauly D. Length-converted catch curves and the seasonal growth of fishes[J]. *Fishbyte*, 1990, 8(3): 33-38.
- [17] 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): 124-134.
He B Q, Li H Q. Stock assessment of *Collichthys lucidus* in Pearl River estuary[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1988, 12(2): 124-134(in Chinese).
- [18] 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.
- [19] Sekharan K V. Estimates of the stocks of oil sardine and mackerel in the present fishing grounds off the west coast of India[J]. *Indian Journal of Fisheries*, 1974, 21(1): 177-182.
- [20] Tanaka S. Studies on the dynamics and the management of fish populations[J]. *Bulletin of the Tokai Regional Fisheries Research Laboratory*, 1960, 28: 1-200.
- [21] Zhang C I, Megrey B A. A revised Alverson and Carney model for estimating the instantaneous rate of natural mortality[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2006, 135(3): 620-633.
- [22] Cubillos L A, Alarcón R, Brante A. Empirical estimates of natural mortality for the Chilean hake (*Merluccius gayi*): evaluation of precision[J]. *Fisheries Research*, 1999, 42(1-2): 147-153.
- [23] Hoenig J M. Empirical use of longevity data to estimate mortality rates[J]. *Fishery Bulletin*, 1983, 82(1): 898-903.
- [24] Jensen A L. Beverton and Holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1996, 53(4): 820-822.
- [25] Kvamme C, Bogstad B. The effect of including length structure in yield-per-recruit estimates for northeast Arctic cod[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2007, 64(2): 357-368.
- [26] Chen Y. A comparison study of age- and length-structured yield-per-recruit models[J]. *Aquatic Living Resources*, 1997, 10(5): 271-280.
- [27] Pitcher T J, Hart P J B. *Fisheries ecology*[M]. London: Croom Helm, 1982.
- [28] 林月娇, 刘海映, 徐海龙, 等. 大连近海口虾蛄形态参数关系的研究[J]. *大连水产学院学报*, 2008, 23(3): 215-217.
Lin Y J, Liu H Y, Xu H L, *et al.* Morphometry of mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* in Dalian coast[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2008, 23(3): 215-217(in Chinese).
- [29] Pitcher T J, Watson R, Courtney A, *et al.* Assessment of Hong Kong's inshore fishery resources[R]. Vancouver: Fisheries Centre, University of British Columbia, 1998.
- [30] Chang Y J, Sun C L, Chen Y, *et al.* Modelling the growth of crustacean species[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2012, 22(1): 157-187.
- [31] Kenchington T J. Natural mortality estimators for information-limited fisheries[J]. *Fish and Fisheries*, 2014, 15(4): 533-562.
- [32] Hewitt D A, Lambert D M, Hoenig J M, *et al.* Direct and indirect estimates of natural mortality for Chesapeake bay blue crab[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2007, 136(4): 1030-1040.
- [33] Gunderson D R, Zimmermann M, Nichol D G, *et al.* Indirect estimates of natural mortality rate for arrowtooth flounder (*Atheresthes stomias*) and darkblotched rockfish (*Sebastes crameri*)[J]. *Fishery Bulletin*, 2003, 101(1): 175-182.
- [34] Brodziak J, Ianelli J, Lorenzen K, *et al.* Estimating natural mortality in stock assessment applications[R]. Seattle, WA: Alaska Fisheries Science Center, 2011.
- [35] 曹少鹏. 渔业生物学参考点的估算及其在东海带鱼 (*Trichiurus haumela*)资源评估中的应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
Cao S P. Estimations of biological reference points and the application of them in the stock assessment of the hairtail (*Trichiurus haumela*) fishery in the East China Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2007(in Chinese).
- [36] Gislason H, Daan N, Rice J C, *et al.* Size, growth, temperature and the natural mortality of marine fish[J]. *Fish and Fisheries*, 2010, 11(2): 149-158.

Yield per recruitment evaluation of *Oratosquilla oratoria* in coastal waters of Shandong

LIU Yiwen¹, ZHANG Chongliang^{1*}, LIU Shude², WANG Sijie², REN Yiping^{1,3}

(1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Shandong Hydrobios Resources Conservation and Management Center, Yantai 264003, China;

3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes,

Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China)

Abstract: In order to complement the basic biological information of *Oratosquilla oratoria* and provide managers with scientific guidance and theoretical basis, based on the size composition data of *O. oratoria* obtained from fishery independent surveys from 2016 to 2017 in coastal waters of Shandong Peninsula, this study estimated the growth and mortality parameters of *O. oratoria*. A length-structure yield per recruitment model was used to assess the population dynamics and management strategy of the species. A total of 5 028 individuals were caught, from which the length-weight relationship was derived as $W=0.014 5L^{2.88}$, showing a negative allometric growth pattern. Asymptotic body length and growth coefficient estimated by ELEFAN were $L_{\infty}=19.87$ cm and $K=0.62$ a⁻¹, respectively. The growth rate of *O. oratoria* showed remarkable seasonal oscillation, the highest in October and the lowest in April, and the amplitude of the seasonal oscillation (C) was 0.76. The total mortality (Z) estimated by length-converted catch curve was 3.24 a⁻¹, and the natural mortality (M) estimated by several estimators ranged from 0.75 to 1.27 a⁻¹. Accordingly, the fishing mortality (F) ranged from 1.96 to 2.49 a⁻¹, and the mean exploitation rate was 0.67. Results of YPR model showed that with the F increasing, YPR tended to increase at first, and then decrease. Biological reference points $F_{0.1}$ and F_{max} were 0.92 a⁻¹ and 1.88 a⁻¹, respectively. This study shows that *O. oratoria* stock is over-exploited. In order to maintain stock and fishery of *O. oratoria*, fishing pressure needs to be reduced and length at first capture should be increased.

Key words: *Oratosquilla oratoria*; yield per recruitment; biological reference point; seasonal growth; coastal waters of Shandong

Corresponding author: ZHANG Chongliang. E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31802301)