

渤海湾口虾蛄种群生物学特征及资源利用状况研究

闫舒涵¹, 谷德贤², 徐海龙^{1,3*}

¹天津农学院水产学院, 天津

²天津市水产研究所, 天津

³天津市水产生态及养殖重点实验室, 天津

收稿日期: 2025年5月11日; 录用日期: 2025年6月4日; 发布日期: 2025年6月12日

摘要

为了解渤海湾口虾蛄开发状态, 基于2018~2021年渤海湾底拖网调查数据, 利用电子体长频率分析法、基于体长转换的渔获曲线、经验公式等研究口虾蛄生长、死亡和渔业开发利用状况, 结果显示, 渤海湾口虾蛄渐进体长和平均生长速率分别为19.68 cm和0.38/年, 总死亡系数、自然死亡系数和捕捞死亡系数分别为2.13/年、0.7/年和1.35/年, 当前开发率为0.63, 研究表明, 渤海湾口虾蛄已超出最适开发水平(0.5), 建议降低捕捞压力, 并将开捕体长增大至11.75 cm, 以保障资源的可持续利用。

关键词

口虾蛄, 资源状况, 渔业参数, 单位补充量渔获量

Biological Characteristics and Resource Utilization of *Oratosquilla oratoria* in Bohai Bay

Shuhan Yan¹, Dexian Gu², Hailong Xu^{1,3*}

¹Department of Fishery Sciences, Tianjin Agricultural University, Tianjin

²Tianjin Fishery Institute, Tianjin

³Tianjin Key Laboratory of Aqua-Ecology and Aquaculture, Tianjin

Received: May 11th, 2025; accepted: Jun. 4th, 2025; published: Jun. 12th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 闫舒涵, 谷德贤, 徐海龙. 渤海湾口虾蛄种群生物学特征及资源利用状况研究[J]. 水产研究, 2025, 12(2): 121-130. DOI: 10.12677/ojfr.2025.122013

Abstract

In order to understand the development status of *Oratosquilla oratoria* in Bohai Bay, based on the bottom trawl survey data of the Bohai Bay from 2018 to 2021, the growth, death, and fishery development and utilization status of mantis shrimp were studied using electronic body length frequency analysis, catch curve based on body length conversion, Pauly empirical formula, etc. The results showed that the asymptotic length and K of Von Bertalanffy Growth Function for *Oratosquilla oratoria* in the Bohai Bay were 19.68 cm and 0.38/year, respectively. The total mortality coefficient, natural mortality coefficient, and fishing mortality coefficient were 2.13/year, 0.7/year, and 1.35/year, respectively. The current development rate was 0.63. The study showed that *Oratosquilla oratoria* in Bohai Bay had exceeded the optimal development level (0.5). It is recommended to reduce fishing pressure and increase the length of the fishing. Up to 11.75 cm of body length to ensure the sustainable use of resources.

Keywords

Oratosquilla oratoria, Resource Status, Fishery Parameters, Yield Per Recruit

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)隶属节肢动物门(Arthropoda), 软甲纲(Malacostraca), 十足目(Stomatopoda), 虾蛄科(Squillae), 口虾蛄属(*Oratosquilla*) [1], 为底栖甲壳类水产经济动物, 广泛分布于我国温带、亚热带及热带海域 [2], 多栖息于泥沙、珊瑚礁及岩石缝隙中, 为我国近海重要渔业对象之一 [3]。近年来, 随着渤海湾传统经济渔业的衰退, 口虾蛄在近海渔获物中的占比显著提升。据中国渔业统计年鉴所示, 自 2018 至 2021 年中国口虾蛄全国海洋捕捞产量已增至近 22 万吨, 呈逐年攀升趋势, 其中渤海湾口虾蛄渔获量占总捕捞量的 45% 以上, 中国近海口虾蛄资源已呈现出逐步衰退趋势 [4] [5]。

当前, 对口虾蛄的研究主要集中于外部形态学、资源生物学、群体结构、年龄鉴定以及人工繁育与养殖等方面 [2]-[11], 关于生长、死亡等关键种群动力学参数的研究相对匮乏。近年来已有对山东近海海域口虾蛄种群生物学参数的研究 [3], 但渤海湾作为受人类活动影响显著的半封闭海域, 其口虾蛄种群的生物学参数及资源利用状况仍缺乏系统研究。渔业参数在研究生长和死亡、进行资源评估及提出合理管理策略中发挥重要作用。受过度捕捞影响, 中国传统优质底层渔获物的渔获组成已逐渐转变为低营养层次的种类, 口虾蛄也已逐渐成为我国近海重要渔获种类之一, 必须充分重视其种群资源的合理利用, 以确保资源的可持续发展。本研究应用电子体长频率分析和体长转换的渔获曲线方程等方法与 Beverton-Holt 动态综合模型相结合, 在估算渤海湾口虾蛄的生长和死亡系数的同时, 对其资源利用状况进行分析, 为渤海湾口虾蛄渔业资源的科学评估与管理提供依据。

2. 材料与方法

2.1. 数据来源

本研究所应用的口虾蛄生物学数据来源于 2018 至 2021 年间每年 4 月、6 至 11 月的渤海湾底拖网渔

获调查数据(2020年11月、2021年4月和6月除外)。采样渔船主机功率176 kw,总吨位64 t,平均拖速2.5 kn,每网作业时间均为1 h,网具网口宽度10 m,囊网网目尺寸20 mm。所采样样品数共计27255尾,体长分布区间为3.3~16.2 cm,所采样品冷冻保存带回实验室后对其体长、体质量等生物学特征进行测定,体长精确至1 mm,体质量精确至0.01 g。

2.2. 数据分析

2.2.1. 口虾蛄的生长

通过对采集的渤海湾口虾蛄样本进行体长(L , mm)、体质量(W , g)和性别等生物学参数测定,对渤海湾口虾蛄体长-体质量的幂指数关系 $W = aL^b$ 进行拟合。其中, a 和 b 分别为生长条件因子和幂指数系数,当环境改变时两参数也会有所变化,在环境条件较好时通常 a 值也会增大。同时,可以进一步通过 b 值与3的大小关系来判断渤海湾口虾蛄当前所处的生长状态。

口虾蛄具有年龄难以测定的特点,选用体长频率数据(LFQ)对其进行生长参数的估算。应用体长频率分析法(ELEFAN) [12],对总样本和以雌雄分组后的样本数据的渐近体长(L_∞)及生长曲线的平均曲率(K)进行求解。利用所求 L_∞ 、 K 值对由 Pauly 提出的经验公式[13]中的体长为零时的年龄(t_0)进行求解,公式如下:

$$\ln(-t_0) = -0.3922 - 0.2752 \ln L_\infty - 1.038 \ln K \quad (1)$$

利用 Snedecor 和 Sturges 两种方法[14]计算组距,并以两种方法结果的平均值作为渤海湾口虾蛄的长度组间隔,应用公式如下:

$$\text{组距 (Snedecor)} = \text{Range} / (\text{Range} / SD \times 4) \quad (2)$$

$$\text{组距 (Sturges)} = \text{Range} / (1 + 3.322 \times \lg N) \quad (3)$$

式中, Range 为体长全距,即最大体长与最小体长的差值; SD 为体长标准差; N 为样品尾数。

2.2.2. 死亡系数与开发率

向 FiSAT II 中的体长转换的渔获曲线模块(Length-converted Catch Curve) [13]输入体长频率数据及生长参数,拟合渤海湾口虾蛄渔获曲线。通过“Reset Selections”选项,遵循渔获曲线上升左枝及临近最大年龄的点不能选取原则,进行选点连线。所连线段斜率的相反数即为总死亡系数,表示为 $-b = Z$,公式如下:

$$\ln(N/dt) = a + bt \quad (4)$$

式中, N 为某一体长组的渔获尾数占总渔获尾数的百分比, dt 为从某一体长组下限生长到该体长组上限所需的时间, t 为相应体长组的年龄组中值。

对自然死亡系数(M)值的估算中,应用由 Pauly 所提出的经验公式[15]:

$$\lg M = 0.0066 - 0.2790 \lg L_\infty + 0.6543 \lg K + 0.4634 \lg T \quad (5)$$

式中, T 为研究对象所处水层的年均温($^{\circ}\text{C}$),依据渤海湾环境调查数据,年均温取值为 14.27°C 。

根据捕捞死亡系数等于总死亡系数与自然死亡系数的差值,求算捕捞死亡系数(F),即 $F = Z - M$,并通过 $E = F/Z$ 对开发率(E)进行求解。

2.2.3. 开捕体长

基于估算总死亡系数(Z)时对渔获曲线中点的选取,利用 FiSAT II 中的“Extrapolate Prob”选项来外推渔获曲线中位于补充年龄前的未被选取点,与逻辑斯蒂曲线法相结合,绘制捕捞选择性曲线。确定在捕获概率分别为25%、50%和75%时所对应的个体体长(L_{25} , L_{50} , L_{75}),将 $S = 0.5$ 时所对应的体长 L_{50} 定义为开捕体长(L_c)。在估算最适开捕体长(L_{opt}) [16]时,应用下式:

$$L_{opt} = L_{\infty} \times [3/(3 + M/K)] \quad (6)$$

2.2.4. 单位补充量渔获量拐点、临界年龄的估算

使用 Beverton 和 Holt 提出的动态综合模型(dynamic pooled model) [17], 又称单位补充量产量模型, 对当前捕捞策略进行评估, 对开捕体长和捕捞力量进行优化。应用 FiSATII 中的 “Beverton & Holt Y/R Analysis” 模块里的 “刀刃型(Knife-edge)” 选项, 输入 M/K 和 L_c/L_{∞} 的值, 绘制相对补充量渔获量(Y'/R)和相对补充量生物量(B'/R)与开发率(E)间的关系图像, 并分别解得: 产生最大产量时的开发率(E_{max})、相对单位补充量渔获量为边际增长量的 10% 时所对应的开发率($E_{0.1}$)、剩余生物量减少到其未开发生物量的 50% 时所对应的开发率($E_{0.5}$)。求解渤海湾口虾蛄相对补充量渔获量(Y'/R)及相对补充量生物量(B'/R)的具体公式如下:

$$U = 1 - (L_c/L_{\infty}) \quad (7)$$

$$m = (1 - E)/(M/K) = K/Z \quad (8)$$

$$Y'/R = EU^{M/K} \left\{ 1 - \frac{3U}{1+m} + \frac{3U^2}{1+2m} - \frac{U^3}{1+3m} \right\} \quad (9)$$

$$B'/R = (Y'/R)/F \quad (10)$$

通过对拐点年龄 t_p (生长速度最大或生长加速度为零时所对应的年龄) [18] 和临界年龄 T_c (在世代无捕捞的情况下种群资源量达到最大值时的年龄) [19] 进行估算, 可进一步基于 Von Bertalanffy 生长方程对其拐点体长与临界体长进行估算, 为提出最适开捕体长提供参考依据, 具体估算公式如下:

$$t_p = t_0 + \ln b/K \quad (11)$$

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

3. 结果

3.1. 体长和体质量关系

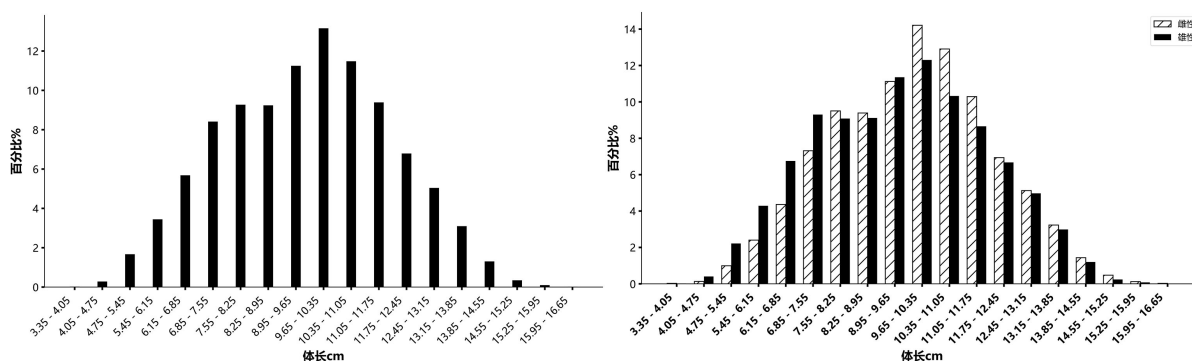


Figure 1. Body length frequency distributions of *Oratosquilla oratoria* from Bohai Bay for the overall population and by sex
图 1. 渤海湾口虾蛄总体样本和雌雄分组的体长频率分布图

共获口虾蛄样本 27255 尾, 所得雌雄性比为 0.81。体长及体质量范围分别为 3.39~16.51 cm、0.71~61.84 g; 优势体长组和优势体质量组分别为: 9.65~10.35 cm、5.00~10.00 g, 分别涵盖了对应样本量的 13.16% 和 23.83%。其中雌性优势体长组和体质量组分别为: 9.65~10.35 cm、5.00~10.00 g; 雄性优势体长组和优

势体质量组分别为：9.65~10.35 cm、5.00~10.00 g。由图 1、图 2 可得渤海湾口虾蛄体长分布整体趋近于正态分布，体重分布有较为明显的左倾趋势。通过对所采渤海湾样本的体长及体质量数据进行幂指数拟合可得整体样本的体长 - 体质量关系式为($R^2 = 0.966$)，雌性样本为($R^2 = 0.962$)，雄性样本为($R^2 = 0.969$)，呈现较好的幂函数关系(图 3)，其中总体异速生长系数 b 为 2.9615，雌性及雄性的异速生长系数分别为 2.9625 和 2.9505，均呈负的异速生长。

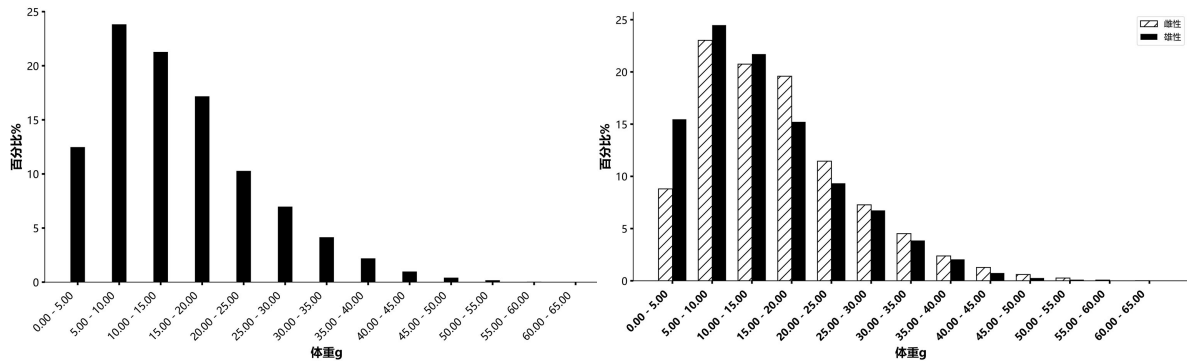


Figure 2. Body weight frequency distributions of *Oratosquilla oratoria* from Bohai Bay for the overall population and by sex
图 2. 渤海湾口虾蛄总体样本和雌雄分组的体重频率分布图

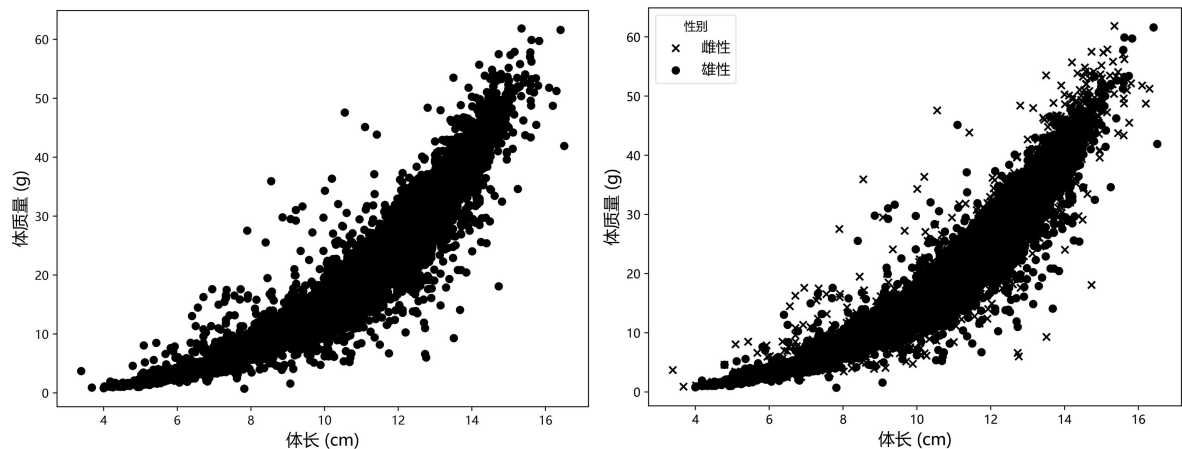


Figure 3. Length-weight relationships of *Oratosquilla oratoria* from Bohai Bay for the overall population and by sex
图 3. 渤海湾口虾蛄总体样本和雌雄分组的体长与体质量关系分布

3.2. 生长方程

通过电子体长频率分析法(ELEFAN)，基于过去四年内采集的口虾蛄样本的体长数据，计算得总样本、雌性和雄性渤海湾口虾蛄的最大体长 L_{∞} 分别为 19.68 cm、17.46 cm 和 18.05 cm， K 值分别为 0.38、0.40 和 0.49。使用 Pauly 经验公式，求得的理论生长年龄 t_0 分别为 -0.79、-0.80 和 -0.64。

3.3. 死亡系数与开发率

使用体长转换的渔获曲线法，分别对总体、雌性及雄性样本进行拟合，根据拟合结果斜率的相反数可分别得，渤海湾口虾蛄总死亡系数为 $Z = 2.13$ 、 $Z_{\text{♀}} = 1.61$ 、 $Z_{\text{♂}} = 2.48$ 。再利用 Pauly 经验公式，求得自然死亡系数分别为 $M = 0.78$ 、 $M_{\text{♀}} = 0.83$ 、 $M_{\text{♂}} = 0.94$ 。可进一步求得总样本的 $F = 1.35$ 、 $E = 0.63$ ，雌性样本的 $F = 0.78$ 、 $E = 0.49$ ，雄性样本的 $F = 1.54$ 、 $E = 0.62$ 。

3.4. 资源利用状况

通过对渔获曲线中位于补充年龄前的各点进行外推, 可得渤海湾口虾蛄捕捞选择性曲线(图 4)。基于捕捞选择性曲线, 可分别得出总样本及以雌雄分组后的渤海湾口虾蛄的选择性参数 L_{25} 、 L_{50} 、 L_{75} (表 1), 当捕捞选择性 $S=0.5$ 时, 可分别得到总体、雌性及雄性口虾蛄的开捕体长 L_c 分别为 9.68 cm、9.37 cm 和 9.23 cm, 此时最适开捕体长(L_{opt})分别为 11.81 cm、10.32 cm 和 11.01 cm。

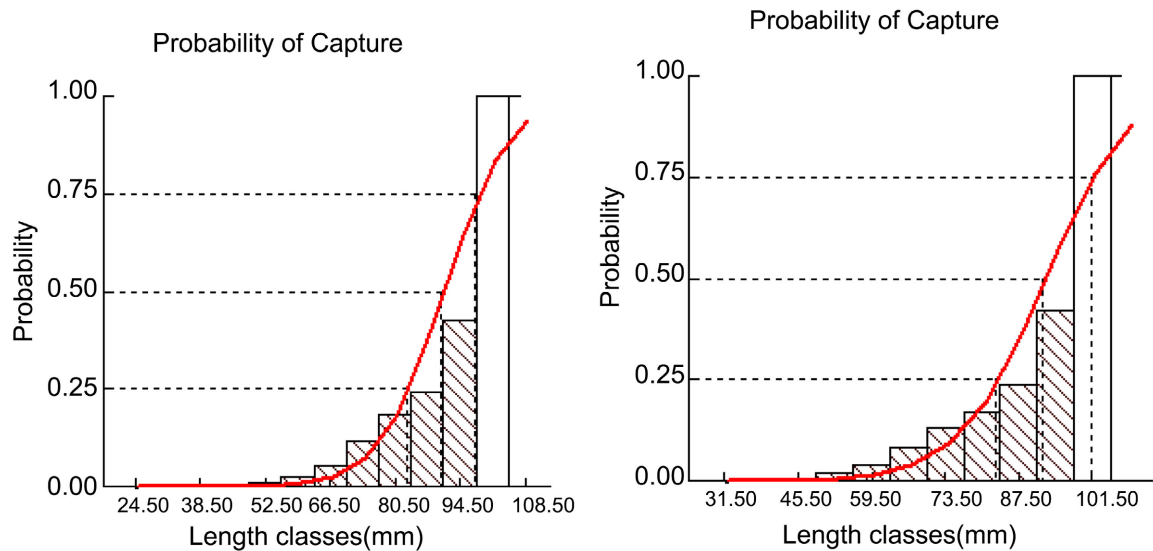


Figure 4. Fishing selectivity curves of *Oratosquilla oratoria* from Bohai Bay by sex
图 4. 渤海湾口虾蛄雌性和雄性的捕捞选择性曲线(纵坐标 $S = 0.5$ 时所对应的横坐标即为开捕体长 L_{50})

Table 1. Biological reference points, length indices and age indices of *Oratosquilla oratoria* in Bohai Bay
表 1. 渤海湾口虾蛄生物学参考点及长度、年龄指标

参数	估算值		
	雌性 Female	雄 Male	总样本 Total
$E_{0.1}$	0.76	0.66	0.67
$E_{0.5}$	0.38	0.37	0.36
E_{max}	0.89	0.80	0.78
L_{25} (cm)	8.63	8.32	8.96
L_{50} (cm)	9.37	9.23	9.68
L_{75} (cm)	10.11	10.13	10.41
L_{opt} (cm)	10.32	11.01	11.81
t_p	1.92	1.57	1.99
T_c	1.42	1.26	1.54

通过向 FiSATII 的相对单位补充量渔获量分析模块中输入 M/K 和 L_c/L_{∞} 两参数, 得渤海湾口虾蛄相对单位补充量渔获量等值线图(图 5)、渤海湾口虾蛄相对单位补充量渔获量(Y'/R)与相对单位补充量生物量(B'/R)和开发率(E)的关系曲线(图 6)。在现行捕捞策略下, 总样本及雌雄分组后的相对单位补充量渔获量 Y'/R 分别为 0.0317、0.0257 和 0.0340, 实际开发率 E 分别为 0.63、0.49 和 0.62, 三组样本均未超出对应

的 $E_{\max}$ 。在保持当前开捕体长不变的情况下，将实际开发率调整至最适开发率 $E_{\max}$ ，改变后的总样本、雌性样本和雄性样本组 Y'/R 分别为 0.0328、0.0318 和 0.0357，除雌性样本组有 23.89% 的增幅外，其余两样本组增幅均较低；其次保持开发率 E 不变，增大开捕体长，此时总体及雄性样本组的相对单位补充量渔获量显示出先增加后减小的趋势，但雌性样本组无明显变化。

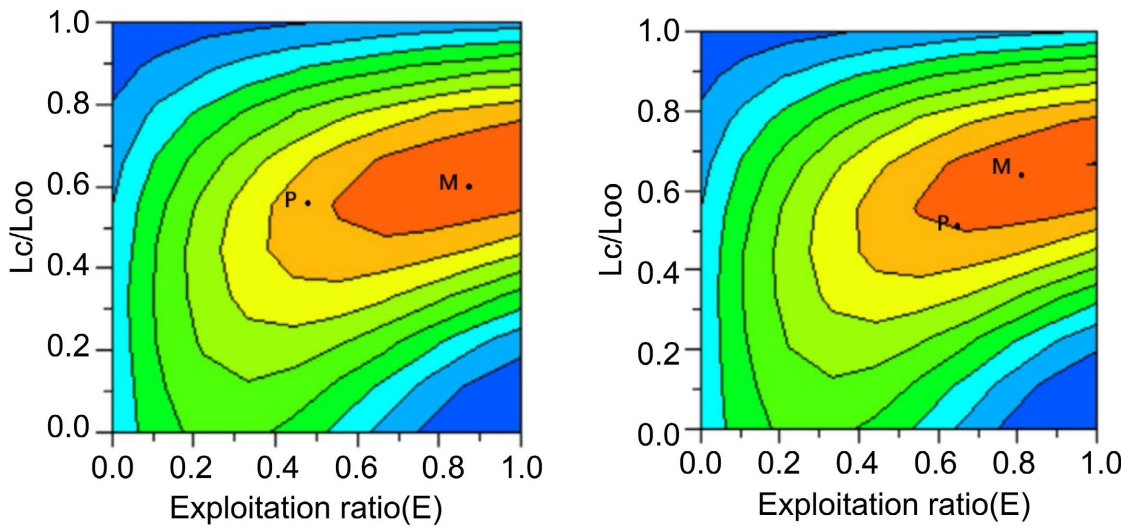


Figure 5. Relative yield-per-recruit (Y'/R) isopleths of *Oratosquilla oratoria* from Bohai Bay by sex
图 5. 渤海湾口虾蛄雌性和雄性的相对单位补充量渔获量等值线图(图中 P 点为现行捕捞状态点、M 点为最佳捕捞状态点，由蓝色至橙色表示相对单位补充量渔获量 Y'/R 逐渐增大的过程)

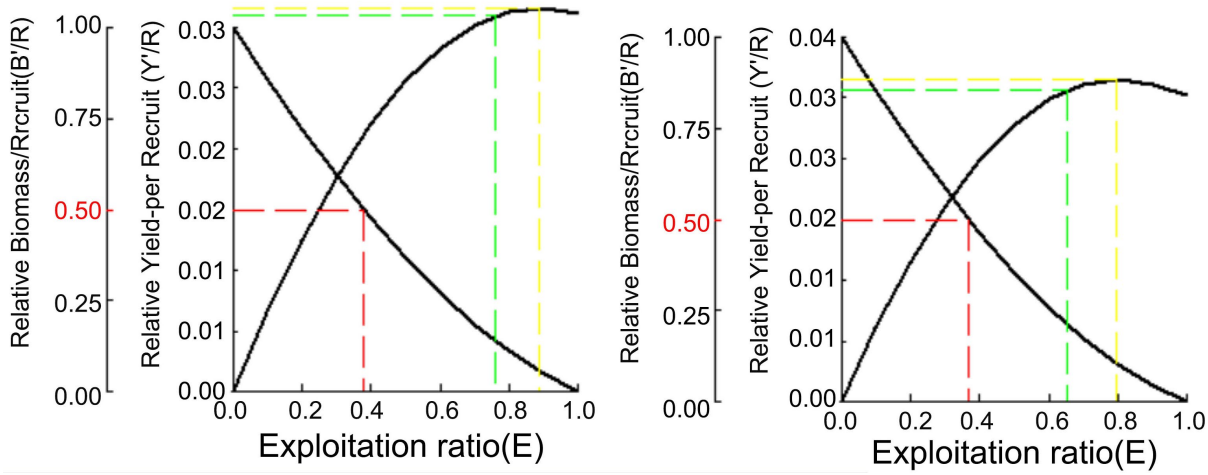


Figure 6. Yield-per-recruit (Y'/R) and biomass-per-recruit (B'/R) curves of *Oratosquilla oratoria* from Bohai Bay
图 6. 渤海湾口虾蛄单位补充量渔获量与单位补充量生物量曲线(绿红黄色折线分别代表 $E_{0.1}$ 、 $E_{0.5}$ 、 $E_{\max}$)

4. 讨论

4.1. 体长 - 体质量关系分析

体长 - 体质量关系参数 a 、 b 是渔业资源评估中的基础参数。其中，条件因子 a 值受到饵料基础和水文等环境条件的影响[20]，在环境条件较好时，其 a 值也会偏高；异速生长系数 b 在不同种类、种群及生活阶段之间均会存在差异，通常被认为是由营养条件和各生活阶段的不同生理特征所导致的[18]。本研究

所拟合的口虾蛄体长-体质量关系,与山东近海[5]口虾蛄的 a 值相比,呈现适度差异且本研究的 a 值较高,可能表明渤海湾的环境条件更有利于口虾蛄的生长;与浙江海域[21]口虾蛄的 a 、 b 值相比无明显差异(表 2)。雌雄分组后的渤海湾口虾蛄体长-体质量关系参数无显著差异,可得性别对渤海湾口虾蛄的体长-体质量关系未产生显著影响。

Table 2. Comparative analysis of growth parameters for *Oratosquilla oratoria* across different marine areas
表 2. 各海域口虾蛄生长参数分析

海域 Sea area	生长条件因子	异速生长系数	渐近体长	生长速率	文献
	a	b	L_{∞} (cm)	K	reference
渤海湾 Bohai Bay	0.0160	2.96	19.68	0.38	本研究
山东近海 Offshore waters of Shandong	0.0145	2.88	19.87	0.62	[5]
浙江 Zhejiang	0.0156	2.91	—	—	[21]
大连近海 Offshore waters of Dalian	0.0206♀	2.86♀	—	—	[22]
	0.0175♂	2.95♂	—	—	
Korea (Tongyeong)	—	—	18.45♀	0.72♀	[24]
	—	—	18.38♂	0.82♂	
Japan (Suo-Nada)	—	—	15.56♀	0.06♀	[25]
	—	—	15.40♂	0.07♂	

注: “—” 表示未有数据。

4.2. 生长与死亡

在资源评估过程中,生长和死亡是影响种群动态的重要因素。本研究中渤海湾口虾蛄的极限体长 L_{∞} 和生长系数 K 分别为 19.68 cm、0.38,由 $e-k=0.62<1$,可得本研究所拟合的渤海湾口虾蛄 Von Bertalanffy 生长方程具有可靠性[23]。通过与以往不同海域口虾蛄的生长参数进行对比,本研究中 L_{∞} 的估算值与山东近海[5]和韩国统营海域[24]的估算结果无明显差异,与日本周防滩[25]所得的分雌雄后的口虾蛄生长参数(雌性: $L_{\infty}=15.56$ cm、 $K=0.06$; 雄性: $L_{\infty}=15.40$ cm、 $K=0.07$)差异较大。这种差异可能主要归因于环境因子的不同,本研究采样的渤海湾与日本周防滩存在一定纬度差异,导致了温度及生活环境的不同,从而影响了口虾蛄的生长速率和个体大小;此外,Hamano T [25]等的研究中所采集的口虾蛄样本体长范围为 1.89~13.87 cm,小于本研究中采集的渤海湾口虾蛄样本的体长范围(3.39~16.51 cm),这也会对 Von Bertalanffy 生长方程的拟合造成影响。

死亡系数作为评估渔业资源动态和可持续性的核心指标之一,分为总死亡、自然死亡、捕捞死亡三种。自然死亡系数(M)受到环境条件和人为捕捞等因素的影响,本研究应用 Pauly 经验公式估算得渤海湾口虾蛄总样本的自然死亡系数为 0.78,以雌雄分组后的 M 分别为: $M_{\text{♀}}=0.83$ 、 $M_{\text{♂}}=0.94$ 。所得 M/K 分别为 2.05、2.09 和 1.93,均介于 1.5~2.5 之间,表明自然死亡系数的估算值已处于合理范围内[18]。通过体长转换的渔获曲线估算总死亡系数(Z)分别为: $Z_{\text{总}}=2.13$ 、 $Z_{\text{♀}}=1.61$ 、 $Z_{\text{♂}}=2.48$ 。有学者指出,当 Z/K 值大于 3 时,种群死亡以捕捞死亡为主,反之则以自然死亡为主[18]。本研究以三种分组方式所求得的 Z/K 值均大于 3,表明渤海湾口虾蛄的种群动态主要受到捕捞死亡的支配。基于总死亡系数与自然死亡系数的差值估算得捕捞死亡系数分别为: $F_{\text{♀}}=0.78$ 、 $F_{\text{♂}}=1.54$ 。通过对渤海湾口虾蛄的种群参数进行性别特异性分析,发现雌雄个体间的自然死亡系数(M)差异并不显著,但捕捞死亡系数(F)存在明显的性别差异,雌性个体的 F 值约为雄性个体的 1/2。导致这一结果的原因可能与本研究在四年间所采集的渤海湾口虾蛄样本的采样月份有关。有学者[26]通过对口虾蛄各月的出现频率进行研究,发现 6、7 月雌性口虾蛄

的出现频率远低于雄性,与本研究所以样本雌雄性比(0.81)相吻合。究其原因可能是雌性口虾蛄进入产卵期,其独特的洞内抱卵习性所导致的。受到出现频率的影响,会使雌性口虾蛄的死亡系数出现低估现象,进而影响其开发率及资源利用状况的分析,今后研究应通过延长采样周期覆盖完整生活史阶段、在技术条件满足的情况下结合标志重捕法验证死亡系数,以更准确量化雌性群体的资源利用状况。

4.3. 资源利用状况

本研究所以估算的总样本及以雌雄分组后的样本开发率(E)分别为: $E_{\text{总}} = 0.63$ 、 $E_{\text{♀}} = 0.49$ 、 $E_{\text{♂}} = 0.62$ 。通过与 Gulland 所提出的最适利用率 $E = 0.5$ [27]进行对比,除雌性样本组外,总样本及雄性样本组均已超出最适利用率,且雌性样本组受繁殖期影响会造成开发率低估现象,由此推断,渤海湾口虾蛄已处于过度捕捞状态。与谷德贤等[28]对天津海域口虾蛄资源量的研究所得出的口虾蛄资源已处于过度捕捞状态一致。将当前开发率 E 调整至 E_{max} ,除雌性样本外, Y/R 均无明显变化,与调整开发率相比,将当前开捕体长调整至最适开捕体长(L_{opt})会使 Y/R 有更大的增幅。如图 5 所示,将现行捕捞状态点 P,调整至最佳捕捞状态点 M,可得最大 Y/R 分别为 $Y/R_{\text{总}} = 0.0330$ 、 $Y/R_{\text{♀}} = 0.0319$ 、 $Y/R_{\text{♂}} = 0.0358$,其对应开发率分别为 0.63、0.49 和 0.62, L_c/L_{∞} 分别为 0.60、0.59 和 0.61。拐点年龄 t_p 表征个体生长速度达到峰值时所对应的年龄,临界年龄 T_c 则是指未开发种群中世代生物量达到最大值时的特定年龄。当开捕年龄对应于拐点年龄之后或临近拐点年龄、临界年龄之前时,所对应的体长更适合用于渔业开捕体长的制定。在开捕体长的制定中,还应遵循将开捕体长设置为大于初次性成熟的体长,以确保种群中的大多数能够进行至少一次的繁衍活动,从而保证补充群体数量防止资源崩溃。本研究所以总样本及以雌雄分组后的样本所对应的拐点体长分别为 13.03 cm、11.57 cm 和 11.93 cm;临界体长为 11.75 cm、10.27 cm 和 10.94 cm。徐海龙等[29],基于两段式模型求得渤海湾口虾蛄总体、雌性、雄性初次性成熟体长分别为 10.99 cm、11.01 cm 和 10.85 cm。结合 L_{opt} 值进行综合分析,本研究建议将渤海湾口虾蛄的开捕体长设置为 11.75 cm。目前,渤海湾口虾蛄已处于过度捕捞状态,与提升开发率相比适当提升开捕体长更加有利于渤海湾口虾蛄种群的资源养护与合理利用。考虑到口虾蛄已逐渐成为我国近海重要渔业资源,且捕捞投入力量也呈上升趋势,综合上述分析,建议适当降低开发率,提高开捕体长。在后续研究中,应采用更为精细的编程语言来实现单位补充量渔获量模型,以获取更全面的参数细节。同时,应综合考虑劳动就业、渔民收入等经济因素,确保在实现资源合理利用的基础上,获得最大化渔业经济效益。

基金项目

天津市规划和自然资源局(天津市海洋生物资源养护工作)项目(ML2020-HP-F059),天津市级大学生创新创业训练计划项目(202410061157)。

参考文献

- [1] Schram, F.R. (2010) Checklist of Marine Biota of China Seas. *Journal of Crustacean Biology*, **30**, 339. <https://doi.org/10.1651/09-3228.1>
- [2] 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(自然科学版), 2009, 39(S1): 326-332.
- [3] 耿玉玲, 张崇良, 韩东燕, 等. 基于科学调查与渔业生产数据的山东近海口虾蛄生长参数估算[J]. 中国水产科学, 2019, 26(4): 756-764.
- [4] 张新明, 程顺峰. 不同性别口虾蛄形态性状对体重的影响分析及曲线拟合[J]. 渔业科学进展, 2020, 41(6): 82-91.
- [5] 刘逸文, 张崇良, 刘淑德, 等. 山东近海口虾蛄单位补充量渔获量评估[J]. 水产学报, 2020, 44(2): 213-221.
- [6] 徐国强, 张洪亮, 周永东. 杭州湾及其邻近海域口虾蛄资源密度分布及个体体重的季节性变化[J]. 中国水产科学, 2024, 31(11): 1306-1315.

- [7] Kodama, K., Yamakawa, T., Shimizu, T. and Aoki, I. (2005) Age Estimation of the Wild Population of Japanese Mantis Shrimp *Oratosquilla oratoria* (Crustacea: Stomatopoda) in Tokyo Bay, Japan, Using Lipofuscin as an Age Marker. *Fisheries Science*, **71**, 141-150. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2005.00941.x>
- [8] Kodama, K., Shimizu, T., Yamakawa, T. and Aoki, I. (2006) Changes in Reproductive Patterns in Relation to Decline in Stock Abundance of the Japanese Mantis Shrimp *Oratosquilla oratoria* in Tokyo Bay. *Fisheries Science*, **72**, 568-577. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2006.01185.x>
- [9] Kodama, K., Shimizu, T., Yamakawa, T. and Aoki, I. (2004) 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. *Fisheries Science*, **70**, 734-745. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2004.00866.x>
- [10] 刘勇, 徐春燕, 庄之栋, 等. 基于张网作业调查的福建漳浦近海口虾蛄生物学特征研究[J]. 渔业研究, 2024, 46(2): 181-189.
- [11] 徐海龙, 郑琳琳, 梁茜, 等. 基于性腺指数估算渤海湾雌性口虾蛄初次性成熟体长[J]. 水产科学, 2024, 43(2): 225-233.
- [12] Pauly, D., David, N. and Elefan I. (1981) A BASIC Program for the Objective Extraction of Growth Parameters from Length-Frequency Data. *Reports on Marine Research*, **28**, 205-211.
- [13] Pauly, D. (1990) Length-Converted Catch Curves and the Seasonal Growth of Fishes. *Fishbyte*, **8**, 24-29.
- [14] 陈国宝, 李永振, 陈丕茂, 等. 鱼类最佳体长频率分析组距研究[J]. 中国水产科学, 2008(4): 659-666.
- [15] Pauly, D. (1980) On the Interrelationships between Natural Mortality, Growth Parameters, and Mean Environmental Temperature in 175 Fish Stocks. *ICES Journal of Marine Science*, **39**, 175-192. <https://doi.org/10.1093/icesjms/39.2.175>
- [16] Beverton, R.J.H. (1992) Patterns of Reproductive Strategy Parameters in Some Marine Teleost Fishes. *Journal of Fish Biology*, **41**, 137-160. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1992.tb03875.x>
- [17] Beverton, R.J.H. and Holt, S.J. (1993) Fishing Mortality and Effort. In: *On the Dynamics of Exploited Fish Populations*, Springer, 75-96. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2106-4_8
- [18] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [19] 唐渝. 太湖湖鲢生长特征和临界年龄的研究[J]. 生态学杂志, 1986(3): 5-9+13.
- [20] Hart, P. and Pitcher, T.J. (1983) *Fisheries Ecology*. Springer Science & Business Media.
- [21] 王春琳, 徐善良, 梅文骧, 等. 口虾蛄的生物学基本特征[J]. 浙江水产学院学报, 1996(1): 60-62.
- [22] 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.
- [23] 费鸿年, 张诗全. 水产资源学[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990: 244-308.
- [24] Kim, S., Kim, H., Bae, H., Kim, H. and Oh, C. (2017) Growth and Reproduction of the Japanese Mantis Shrimp, *Oratosquilla oratoria* (de Haan 1844) in the Coastal Area of Tongyeong, Korea. *Ocean Science Journal*, **52**, 257-265. <https://doi.org/10.1007/s12601-017-0027-2>
- [25] Hamano, T. and Morrissy, N.M. (1992) Growth of *Oratosquilla oratoria* (de Haan, 1844) (Stomatopoda) in the Sea of Suo-Nada, Japan. *Crustaceana*, **63**, 263-276. <https://doi.org/10.1163/156854092x00415>
- [26] 刘海映, 秦玉雪. 口虾蛄生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023: 12-25.
- [27] Gulland, J.A. (1983) *Fish Stock Assessment: A Manual of Basic Methods*. Wiley, 87-125.
- [28] 谷德贤, 刘茂利. 天津海域口虾蛄群体结构及资源量分析[J]. 河北渔业, 2011(8): 24-26.
- [29] 徐海龙, 薛薇, 谷德贤, 等. 基于两段式模型研究口虾蛄体长-体质量关系及估算初次性成熟体长[J]. 水产学报, 2022, 46(2): 207-214.