

DOI: 10.12264/JFSC2022-0131

人工鱼礁区不同网目尺寸单片刺网对许氏平鲈和大泷六线鱼的选择性

张力友¹, 刘淑德², 董秀强², 于梦杰¹, 唐衍力¹

1. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 山东省渔业发展和资源养护总站, 山东 烟台 264003

摘要: 为探究人工鱼礁区单片刺网对许氏平鲈(*Sebastes schlegeli*)和大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)的选择性, 于 2021 年 10 月在荣成北部人工鱼礁区使用 4 种网目尺寸(40 mm、50 mm、60 mm、70 mm)的单片刺网进行选择试验。在 SELECT 模型的架构下, 使用 Normal、Lognormal、Gamma、Bi-normal 模型进行选择拟合, 根据赤池信息指数(AIC)和模型残差(MD)选择最佳拟合模型。结果表明: Lognormal 模型拟合效果最佳, 其 AIC 值和 MD 值均为最低值。根据 Lognormal 模型, 不同网目尺寸许氏平鲈的模型拟合长度分别为 114.23 mm、142.79 mm、171.35 mm、199.90 mm; 大泷六线鱼的模型拟合长度分别为 129.67 mm、162.09 mm、194.51 mm、226.92 mm。许氏平鲈和大泷六线鱼的体长与最大剖面周长的线性关系分别为: $G=0.2877L+0.7463(R^2=0.6722)$, $G=0.2468L-3.8531(R^2=0.6851)$ 。选取 150 mm 作为许氏平鲈和大泷六线鱼的理论成熟体长(MBL)进行分析, 结合幼鱼留存比例, 发现网目尺寸为 60 mm 和 70 mm 的刺网能够保护人工鱼礁区许氏平鲈和大泷六线鱼的幼鱼资源。研究结果可为人工鱼礁区渔业资源的管理和养护提供参考。

关键词: 人工鱼礁; 单片刺网; 许氏平鲈; 大泷六线鱼; 网目尺寸; 选择性

中图分类号: S972

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)10-1519-10

许氏平鲈(*Sebastes schlegeli*)隶属于鲈形目(Scorpaeniformes)、鲈科(Scorpaenidae)、平鲈属, 大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)隶属于鲈形目(Scorpaeniformes)、六线鱼科(Hexagrammidae)、六线鱼属。两物种广泛分布在我国黄渤海、东海海域, 常栖息于近海岩礁区^[1], 是我国北方沿海的主要经济鱼类。但随着捕捞强度的不断增加, 环境污染的加剧, 其资源量急剧衰退, 且呈现出个体小型化现象^[2-3]。近年来, 为保护近海渔业资源和修复生态环境, 人工鱼礁与海洋牧场建设在全国沿海各地区迅速发展, 起到了良好的资源养护效果^[4]。但随着人工鱼礁规模的不断增加, 人工鱼礁区渔业资源丰富度的不断提升, 如何在人工

鱼礁区进行科学采捕亟需解决。

许氏平鲈和大泷六线鱼是黄渤海人工鱼礁区的主要优势种^[5]。其采捕方式主要包括地笼网、钓具和刺网。地笼网选择性较差, 钓具采捕效率较低, 而刺网因其操作简单、适宜于复杂的海底条件等特点被广泛应用于近海渔业中。2020 年, 刺网的捕捞产量为 2154161 t, 占全国海洋捕捞产量的 22.7%, 仅次于拖网^[6]。但与拖网、围网等主动渔具相比刺网能够有效保护底栖生物群落结构多样性^[7], 对渔船的动力要求不高。

2014 年农业部颁布的《关于实施海洋捕捞网具最小网目尺寸制度的通告》^[8]中规定了黄渤海区单片刺网对三疣梭子蟹(*Portunus tritubercu-*

收稿日期: 2022-04-29; 修订日期: 2022-07-04.

基金项目: 山东近海渔业资源调查与监测项目(37000022P11000111802T).

作者简介: 张力友(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔具选择性. E-mail: 719466265@qq.com

通信作者: 唐衍力, 教授, 主要从事选择性渔具渔法、人工鱼礁与海洋牧场方面研究. E-mail: tangyanli@ouc.edu.cn

latus)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)等主捕种类的最小网目尺寸,但关于许氏平鲷和大泷六线鱼的最小网目尺寸标准还未制定。在实际的生产作业中,单片刺网网目尺寸过小会导致大量的许氏平鲷和大泷六线鱼幼体被捕获,不利于人工鱼礁区渔业资源的养护。

本研究对不同网目尺寸的单片刺网对许氏平鲷、大泷六线鱼的选择性进行分析,并结合许氏平鲷、大泷六线鱼的性成熟体长探讨捕捞许氏平鲷和大泷六线鱼的最小网目尺寸,为合理利用人工鱼礁区渔业资源提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 数据来源

实验海域位于山东省荣成北部人工鱼礁区,122°33'30"~122°34'30" E, 37°24'00"~37°24'20" N,如图 1 所示,作业水深 3~10 m,实验时间为 2021 年 10~11 月。

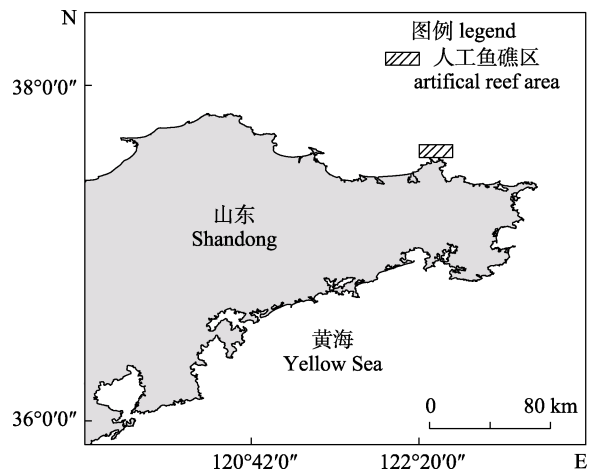


图 1 实验海域
Fig. 1 Experiment area

实验网具采用单片定置刺网,网具材料为聚乙烯,缩结系数为 0.47,网长 50 m,网高 1.2 m,具体参数见表 1。实验网具共设置 4 种网目尺寸(40 mm、50 mm、60 mm、70 mm),每种网目尺寸 15 片,实验时将 4 种不同网目尺寸的刺网各 1 片串联为一列进行投放,如图 2 所示。每次放网时间为 15:00~16:00,作业方式为锚碇定置刺网,

放网方式为顺风放网,先放出系于网列首端的浮标和浮标绳,然后横流或偏横流前进,之后分别投放浮、沉子纲,依次放出网具。起网为降低时间差的影响,采用先放先起的方式,因起网速度较快,采用先取网、后摘鱼的方法。起网时间为次日 6:00~7:00,平均浸泡 15 h,共进行了 15 个有效网次的实验。每次实验结束后,对 4 种网目尺寸刺网的所有渔获物进行种类鉴定,并对许氏平鲷和大泷六线鱼的体长、体重、最大剖面周长等生物学参数进行测量。

表 1 实验网的主要技术参数
Tab. 1 Technical characters of gillnets used in this experiment

参数 parameter	网目尺寸/mm mesh size			
	40	50	60	70
上纲长度/m length of floatline	50	50	50	50
下纲长度/m length of leadline	50	50	50	50
网线直径/mm diameter of net twine	0.02	0.02	0.02	0.02
横向目数/目 horizontal mesh number	1250	1000	833	714
纵向目数/目 vertical mesh number	30	24	20	17
网片数量/片 number of gillnets	15	15	15	15

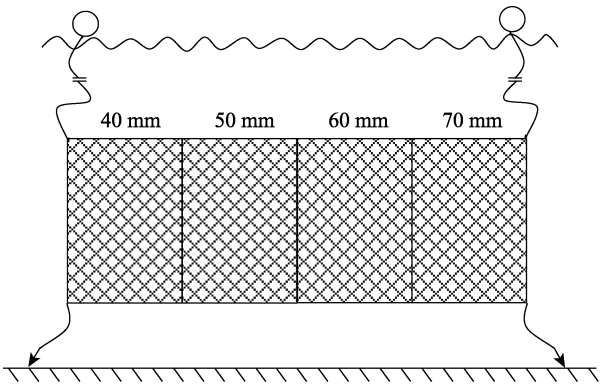


图 2 刺网选择性实验示意图
Fig. 2 Schematic diagram of gillnet selectivity test

1.2 数据分析

1.2.1 K-S 检验 采用 Kolmogorov-Smirnov 假设检验比较不同网目尺寸的许氏平鲷和大泷六线鱼体长分布差异是否显著,该检验在软件 SPSS26 中完成。

1.2.2 模型选择 本研究选取 SELECT 模型进行选择分析,该方法建立在严格的统计模型基础之上,目前已被广泛应用于刺网的选择性研

究中^[9-11], 其基本原理为假设体长为 l_j 的渔获接触所有联合渔具的数量符合泊松分布^[12], 同时忽略捕捞努力和渔获能力的差异, 扩展随机误差项得出特定模型, 渔获尾数和渔具选择性参数之间的关系可以表示为:

$$C_{ij} = qN_jS_{ij} + N \quad (1)$$

本研究的目标渔获为许氏平鲈和大泷六线鱼, 式中, C_{ij} 表示网目尺寸为 i 的渔具捕获体长组为 j 的许氏平鲈和大泷六线鱼的尾数; q 表示可捕率, 即接触渔具的资源占总资源的比率; N_j 表示渔具作业范围内的体长组为 j 的许氏平鲈和大泷六线鱼资源总数; S_{ij} 表示渔具选择率; N 表示随机误差。

假设随机误差项同样符合泊松分布, 则可以得到观察值的误差项为:

$$\text{Noise} \in \text{Poisson}(\lambda = \alpha N_j S_{ij}) = \frac{\lambda^{C_{ij}}}{C_{ij}!} e^{-\lambda} \quad (2)$$

构造对数似然函数可得:

$$\ln L = \sum_i \sum_j [C_{ij} \ln(\lambda) - \ln C_{ij}! - \lambda] \quad (3)$$

根据极大似然值原理, 运用 Microsoft Excel 2019 中“规划求解”功能进行求解, 即当式(3)取最大值时, 用来估算的极大似然估计参数为最佳值^[13]。

选用正态分布模型(normal)、对数正态分布模型(lognormal)、Gamma 分布模型、双峰分布模型(bi-normal)进行拟合, 其表达式如下:

$$\text{Normal: } S_{ij} = \exp \left[-\frac{\left(\frac{l_j}{m_i} - R_0 \right)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (4)$$

$$\text{Lognormal: } S_{ij} = \exp \left[-\frac{\left[\ln \left(\frac{l_j}{m_i} \right) - \ln(R_0) \right]^2}{2\sigma^2} \right] \quad (5)$$

$$\text{Gamma: } S_{ij} = \left[\frac{l_j}{(\alpha-1)\beta} \right]^{\alpha-1} \exp \left(\alpha - 1 - \frac{l_j}{\beta} \right) \quad (6)$$

式中, R_0 为众数相对体长; l_j 为第 j 体长组的体长; m_i 为第 i 种网目的网目尺寸; σ 为模型的标准差; α, β 为模型参数, α 表示形状参数, β 表示尺度参数。

Bi-normal: $S_{ij} =$

$$\exp \left[-\frac{(l_j - K_1 \cdot m_i)^2}{2(K_2 \cdot m_i)^2} \right] + \omega \left[-\frac{(l_j - K_3 \cdot m_i)^2}{2(K_4 \cdot m_i)^2} \right]^{1/2} \quad (7)$$

式中, K_1, K_2, K_3, K_4 均为常数。

1.2.3 模型拟合度检验 通过计算模型残差和赤池信息指数对各模型的拟合优劣程度进行检验, 最小者为佳^[14-17]。计算公式如下:

$$d_{ij} = \pm \left[2C_j \left(\varphi_{ij} \ln \frac{\varphi_{ij}}{\varphi(R_{ij})} \right) + (1 - \varphi_{ij}) \times \ln \frac{1 - \varphi_{ij}}{1 - \varphi(R_{ij})} \right]^{1/2} \quad (8)$$

式中, φ_{ij} 为实际选择率, $\varphi(R_{ij})$ 为理论选择率。其中, 当 $\varphi_{ij} > \varphi(R_{ij})$ 时, 取正号(+); 当 $\varphi_{ij} < \varphi(R_{ij})$ 时, 取负号(-)。

根据各个模型的个体残差计算模型残差, 计算公式如下:

$$D = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (d_{ij})^2 \quad (9)$$

赤池信息指数公式如下:

$$\text{AIC} = -2\text{MLL} + 2T \quad (10)$$

式中, MLL 为模型的最大对数尤度, T 为代估参数的数量。

2 结果与分析

2.1 渔获概况

本次实验共捕获目标种类许氏平鲈 340 尾, 共 45.82 kg, 大泷六线鱼 415 尾, 共 37.52 kg。不同网目尺寸刺网捕获鱼类数量、体长范围、平均体长、平均体重及标准差如表 2 所示。40 mm、50 mm、60 mm、70 mm 网目各捕获许氏平鲈 62 尾、73 尾、110 尾、95 尾, 大泷六线鱼 127 尾、138 尾、83 尾、67 尾。随着网目尺寸的增加, 许氏平鲈和大泷六线鱼的平均体长和平均体重也不断增加。

表 2 许氏平鲈和大泷六线鱼的渔获数据
Tab. 2 Catch data of *Sebastes schlegelii* and *Hexagrammos otakii*

网目尺寸 /mm mesh size	许氏平鲈 <i>Sebastes schlegelii</i>				大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>			
	数量/ind	体长范围/mm length range	体长/mm $\bar{x}\pm\text{SD}$	体重/mm $\bar{x}\pm\text{SD}$	数量/ind	体长范围/mm length range	体长/mm $\bar{x}\pm\text{SD}$	体重/mm $\bar{x}\pm\text{SD}$
40	62	70–165	120.5±21.86	49.44±27.47	127	80–198	144.1±26.59	63.28±31.37
50	73	80–230	155.8±31.87	109.7±31.87	138	100–220	153.3±22.91	74.16±34.69
60	110	110–250	179.9±27.73	155.7±63.61	83	110–250	175.3±32.90	116.4±67.88
70	95	130–235	193.2±22.47	185.3±53.05	67	130–242	193.2±25.68	143.0±63.49

2.2 体长分布

体长数据以 10 mm 为间隔进行频率统计, 各网目尺寸中许氏平鲈和大泷六线鱼体长分布如图 3 所示。总体上许氏平鲈和大泷六线鱼的体长分布均呈单峰分布趋势, 其中, 许氏平鲈 40 mm、50 mm、60 mm、70 mm 的众数体长组分别为 100~120 mm、150~160 mm、170~180 mm、200~210 mm, 占总数量的 7.6%、3.5%、7.4%、5.9%; 大泷六线鱼的众数体长组分别为 140~150 mm、150~160 mm、170~180 mm、180~200 mm, 占总数量的 5.8%、8.0%、4.3%、6.2%。

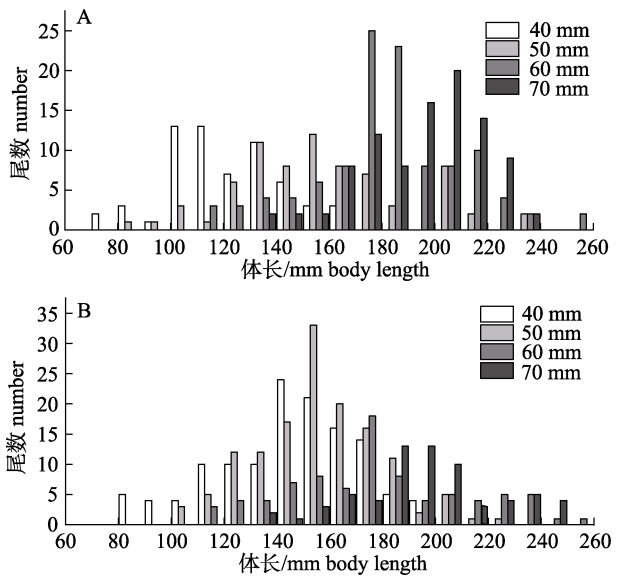


图 3 许氏平鲈(A)、大泷六线鱼(B)体长分布
Fig. 3 The body length distributions of *Sebastes schlegelii* (A) and *Hexagrammos otakii* (B)

2.3 体长与体重、最大剖面周长关系

鱼类的形体特征是影响刺网选择性的的重要因素^[12], 对实验测量数据进行拟合, 分别得到了许氏平鲈、大泷六线鱼体长(L)与体重(W)、体长与

最大剖面周长(G)的相关关系。其中, 体长与体重两种鱼类均呈幂函数关系, 如式(11)、式(12)和图 4 所示。随着两种鱼类体长的增加, 其肥满度也呈递增趋势。而体长与最大剖面周长两种鱼类均呈线性关系, 如式(13)、式(14)和图 5 所示。

$$W = 4 \times 10^{-5} L^{2.9037} \quad (R^2 = 0.9871) \quad (11)$$

$$W = 2 \times 10^{-5} L^{2.9913} \quad (R^2 = 0.9877) \quad (12)$$

$$G = 0.2877L + 0.7463 \quad (R^2 = 0.6722) \quad (13)$$

$$G = 0.2468L - 3.8531 \quad (R^2 = 0.6851) \quad (14)$$

根据以上公式可知, 当体长为 150 mm 时, 许氏平鲈的体重和最大剖面周长分别为 83.33 g 和 43.90 mm, 大泷六线鱼的体重和最大剖面周长分别为 64.62 g 和 33.17 mm。

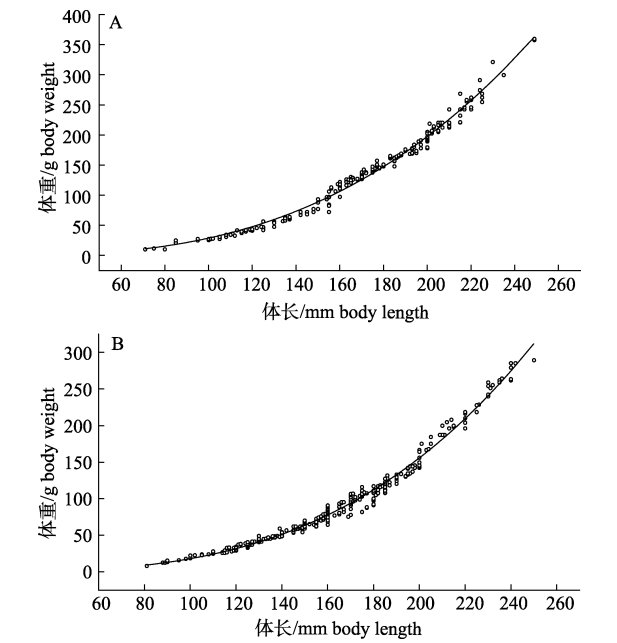


图 4 许氏平鲈(A)、大泷六线鱼(B)体长与体重关系
Fig. 4 Relationship between body length and weight of *Sebastes schlegelii* (A) and *Hexagrammos otakii* (B)

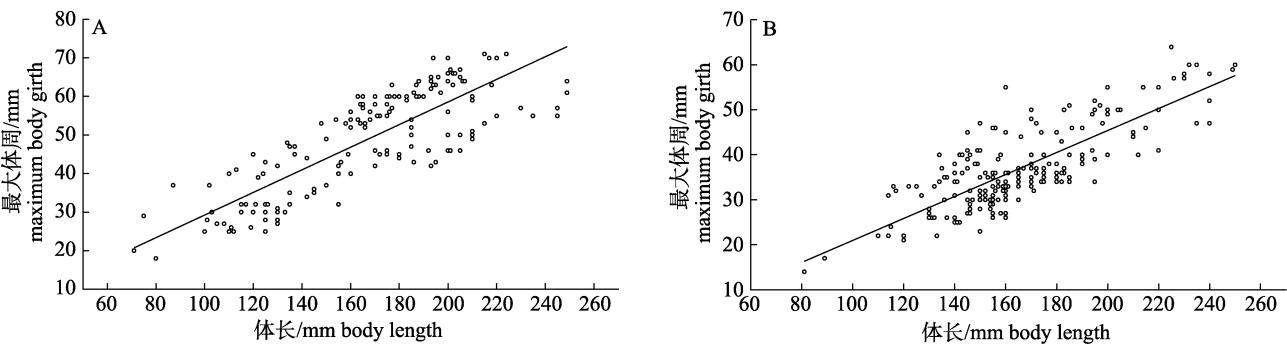


图 5 许氏平鲷(A)、大泷六线鱼(B)最大体周与体长的关系
Fig. 5 Relationship between maximum body girth and body length of *Sebastes schlegelii* (A) and *Hexagrammos otakii* (B)

2.4 选择性分析

各模型的估算参数如表 3 所示。在许氏平鲷和大泷六线鱼的拟合模型中, lognormal 模型残差值和 AIC 值均为最小值。因此, lognormal 模型能够更好得表述单片刺网不同网目尺寸对许氏平鲷和大泷六线鱼的选择性特征。

表 3 模型参数估计值和拟合度检验
Tab. 3 The results of estimated model parameters and test of fit

种类 species	模型 model	参数 parameter	MLL	MD	Df	AIC
许氏平鲷 <i>Sebastes schlegelii</i>	normal	$R_0=2.989, \sigma=0.558$	-110.133	63.702	48	224.267
	lognormal	$R_0=2.856, \sigma=0.190$	-105.687	51.438	48	215.374
	gamma	$\alpha=28.72, \beta=0.105$	-106.014	52.271	48	216.029
	bi-normal	$K_1=3.356, K_2=4.751$ $K_3=0.452, K_4=0.196$ $\omega=0.075$	-109.750	62.149	45	229.501
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	normal	$R_0=3.101, \sigma=0.723$	-135.494	120.459	49	274.999
	lognormal	$R_0=3.242, \sigma=0.236$	-129.776	102.508	49	263.545
	gamma	$\alpha=20.104, \beta=0.172$	-130.621	105.694	49	265.242
	bi-normal	$K_1=3.376, K_2=4.477$ $K_3=0.502, K_4=0.239$ $\omega=0.565$	-135.684	121.105	46	281.368

如图 6 所示, lognormal 模型下不同网目尺寸许氏平鲷的模型拟合长度分别是 114.23 mm、142.79 mm、171.35 mm、199.90 mm, 大泷六线鱼的模型拟合长度分别是 129.67 mm、162.09 mm、194.51 mm、226.92 mm。随着网目尺寸的增加, 相对应的模型拟合长度也逐渐增加, 单片刺网对许氏平鲷和大泷六线鱼的体长选择范围也逐渐增加。从曲线整体趋势来看, 曲线向右倾斜均十分明显, 左侧选择率下降较快, 而右侧下降相对缓慢。lognormal 下, 不同网目尺寸对许氏平鲷和大泷六线鱼的残差图如图 7 所示。

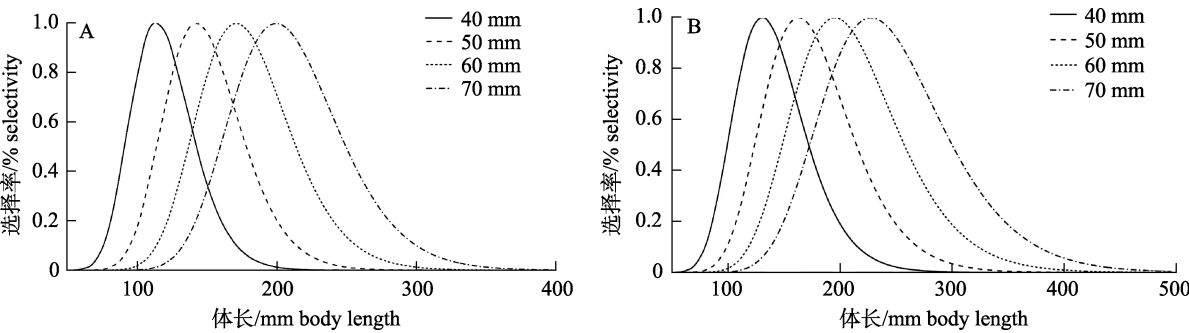


图 6 lognormal 模型下许氏平鲷(A)、大泷六线鱼(B)的选择性曲线
Fig. 6 The lognormal selectivity curves for *Sebastes schlegelii* (A) and *Hexagrammos otakii* (B)

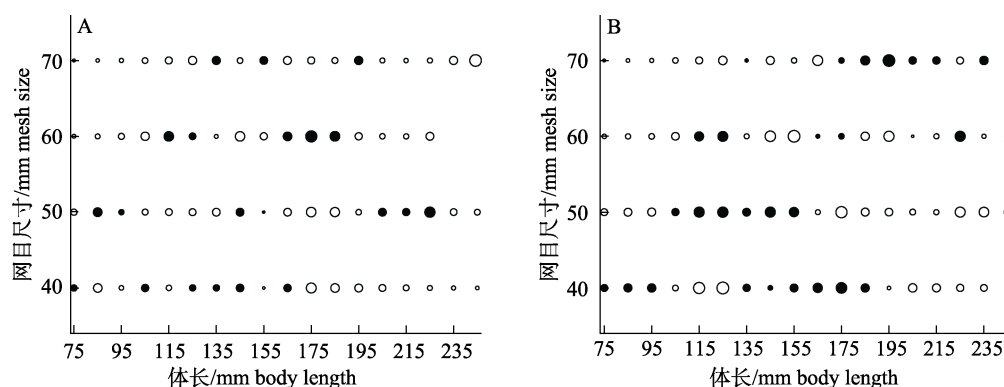


图 7 lognormal 模型下许氏平鲈(A)、大泷六线鱼(B)的残差图

实心点为正残差, 空心点为负残差, 点的大小代表残差值的大小。

Fig. 7 Lognormal deviance residuals plot for *Sebastes schlegelii* (A) and *Hexagrammos otakii* (B)
Filled and empty circular correspond to positive and negative residuals, respectively,
the size of the circular represents the size of the residual value.

3 讨论

许氏平鲈和大泷六线鱼作为黄渤海人工鱼礁区主要经济物种, 为海洋牧场企业和沿海渔民提供了重要的经济收入和海产品来源。目前, 国内对许氏平鲈和大泷六线鱼的研究主要集中于繁殖发育与苗种培育^[18-19]、应激反应行为及其耐受性^[20-21]、群体遗传多样性^[22-23]、组织生态学^[24-25]、年龄与生长特性^[26-27]、人工鱼礁区诱集效果和资源量分布等方面^[2,5], 而关于渔业资源采捕问题的报道较少。唐衍力等^[28]通过室内水槽实验研究不同网目尺寸和缩结系数笼壶对许氏平鲈的选择性, 表明在鱼礁区使用网目规格为 70 mm, 缩结系数(E_t)为 0.6 的笼壶渔具进行采捕有利于保护幼鱼资源。刘永虎等^[29]通过室内水槽实验分析了不同网目尺寸鱼笼对大泷六线鱼的选择性, 表明使用规格为 60 mm 的鱼笼进行采捕适合保护大泷六线鱼资源。刺网作为目前采捕许氏平鲈和大泷六线鱼的重要网具, 其在人工鱼礁区的渔具管理并未受到关注。本文通过渔具选择性研究并结合捕捞对象的成熟体长, 为许氏平鲈和大泷六线鱼刺网最小网目尺寸的制定提供参考, 有助于人工鱼礁区渔业资源的可持续发展。

众多选择性研究表明, 网目尺寸是影响刺网选择性的主要因素^[30-32]。本研究采用 4 种网目尺寸的刺网对许氏平鲈和大泷六线鱼进行了选择性研究, 通过 K-S 检验发现, 各网目尺寸之间体长

频率分布存在很大的差异($P < 0.05$)。当网目尺寸从 40 mm 增加至 70 mm 时, 许氏平鲈的平均体长由 120.5 mm 增加至 193.2 mm, 大泷六线鱼的平均体长由 144.1 mm 增加至 193.2 mm。方法估算上选取广泛应用于各种网具选择性研究的 SELECT 模型进行选择分析, lognormal 模型因具有最低的赤池信息指数和模型残差, 为最佳拟合模型。该模型的特点是选择性曲线向右倾斜, 曲线的右侧代表个体较大的鱼被捕获的概率, 它们通常是通过头部刺挂捕获的。从鱼类行为学对渔具选择性的影响来看, 个体较大的鱼比个体较小的鱼活动性更强, 接触网具的机会也更多, 通过缠绕捕获的几率也会变大, 导致选择性曲线向右倾斜^[12]。Hamley^[33]的研究也表明刺网对鱼类的选择性曲线往往是倾斜的, 并且当伴随着的缠绕逐渐增加, 曲线还可能呈现双峰及多峰形状。

许氏平鲈的首次性成熟体长为 193 mm^[34], 大泷六线鱼的推荐可捕体长在 200 mm 左右^[35]。但通过近年来的研究表明, 由于黄渤海及东海海域的环境污染和过度捕捞, 鱼类出现成熟个体变短, 成熟年龄变小等现象, 并呈现出不可逆性^[36]。通过市场调查发现, 许氏平鲈和大泷六线鱼的出售规格明显低于其首次性成熟体长和推荐可捕体长。为平衡渔民的经济利益和渔业资源可持续发展, 刘岳等^[36]将 150 mm 作为许氏平鲈的理论成熟体长进行选择分析。冯昭信等^[35]发现大泷六线鱼雄鱼、雌鱼性开始成熟的最小体长在 100 mm

和 150 mm 左右, 考虑到两种鱼的体长分布范围相似, 本研究选取 150 mm 作为许氏平鲷和大泷六线鱼的理论成熟体长进行分析。网目尺寸为 40 mm、50 mm、60 mm、70 mm 的刺网捕获许氏平鲷的幼鱼比例分别为 90.3%、42.5%、12.7%、4.2%; 大泷六线鱼的幼鱼比例分别为 52.8%、34.8%、21.7%、4.5%。《山东省海洋捕捞渔具专项整治行动实施方案》^[37]规定所有渔具捕获渔获物的幼鱼比例不得高于 25%, 因此, 网目尺寸为 40 mm 和 50 mm 的刺网渔获物不符合幼鱼比例要求。而 60 mm 和 70 mm 刺网捕获的许氏平鲷和大泷六线鱼的成鱼数量并无减少, 且模型拟合长度(图 6)显著高于理论成熟体长, 能较好地保护幼鱼, 有利于渔业资源的可持续发展。

鱼的体周是影响选择性的一个重要因素^[33,38-39]。Queirolo 等^[40]通过比较不同网目尺寸单片刺网分别在高、低繁殖期对智利无须鳕(*Merluccius gayi gayi*)的选择性时发现, 渔具选择性会随时间和物种成熟度的变化而变化, 雌鱼在高繁殖期时由于性腺成熟和抱卵导致体周增大, 比低繁殖期时更容易被捕获。如图 5 所示, 本研究发现大泷六线鱼和许氏平鲷的体长体周关系图中的数据点分布在关系式两侧, 这是由于实验期间内大泷六线鱼正处于高繁殖期^[35], 而许氏平鲷虽未处于高繁殖期^[34], 仍有部分鱼处于产卵状态, 在实际的捕捞作业中, 大量的大泷六线鱼和部分许氏平鲷腹部明显膨胀。因此当许氏平鲷和大泷六线鱼处于高繁殖期时, 可以继续放大网目尺寸从而减少雌鱼的捕获。

参考文献:

- [1] Jin X B. Fauna Sinica: Scorpaeniformes[M]. Beijing: Science Press, 2006: 139-141. [金鑫波. 中国动物志: 鲈形目[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 139-141.]
- [2] Liu H Y, Lü 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. [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鲷和大泷六线鱼幼鱼的诱集作用[J]. 水产学报, 2018, 42(1): 48-59.]
- [3] Liang Z L, Yan W, Sun P, et al. A study on the impact of gillnet on the phenotypic traits of fish population[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(2): 329-334. [梁振林, 闫伟, 孙鹏, 等. 刺网选择性对鱼类表型性状的选择作用研究[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(2): 329-334.]
- [4] Li Z Y, Lin Q, Li J, et al. Present situation and future development of marine ranching construction in China[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(9): 1870-1880. [李忠义, 林群, 李娇, 等. 中国海洋牧场研究现状与发展[J]. 水产学报, 2019, 43(9): 1870-1880.]
- [5] Zhang S, Sun M C, Chen Y. The attractive effects of different structural artificial reef models on juvenile rockfish *Sebastes schlegelii* and fat greenling *Hexagrammos otakii*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2008, 23(1): 13-19. [张硕, 孙满昌, 陈勇. 人工鱼礁模型对大泷六线鱼和许氏平鲷幼鱼个体的诱集效果[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(1): 13-19.]
- [6] Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture. China Fisheries Statistics Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 44. [农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 44.]
- [7] Lucchetti A, Virgili M, Petetta A, et al. An overview of gill net and trammel net size selectivity in the Mediterranean Sea[J]. Fisheries Research, 2020, 230: 105677.
- [8] Guo R. The Ministry of Agriculture issued the minimum mesh size system of permitted fishing gear and transitional fishing gear for marine fishing and the catalogue of prohibited fishing gear[J]. China Fisheries, 2014(1): 22. [郭睿. 农业部发布海洋捕捞准用渔具和过渡渔具最小网目尺寸制度以及禁用渔具目录[J]. 中国水产, 2014(1): 22.]
- [9] Millar R B. Estimating the size-selectivity of fishing gear by conditioning on the total catch[J]. Journal of the American Statistical Association, 1992, 87(420): 962-968.
- [10] Millar R B. Untangling the confusion surrounding the estimation of gillnet selectivity[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2000, 57(2): 507-511.
- [11] Park H H, Millar R B, Bae B S, et al. Size selectivity of Korean flounder (*Glyptocephalus stelleri*) by gillnets and trammel nets using an extension of SELECT for experiments with differing mesh sizes[J]. Fisheries Research, 2011, 107(1-3): 196-200.
- [12] Sun M C. Fishing method selectivity of fishing gear[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004. [孙满昌. 渔具渔法选择性[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.]
- [13] Álvarez-Colombo G L, Dato C V, Machinandiarena L, et al. Daylight vertical segregation of young-of-the-year Argentine Hake *Merluccius hubbsi*: Advances in assessment of juvenile abundance with acoustic methods[J]. Fisheries Research, 2014, 160: 85-95.

- [14] Millar R B, Fryer R J. Estimating the size-selection curves of towed gears, traps, nets and hooks[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 1999, 9(1): 89-116.
- [15] Fujimori Y, Tokai T. Estimation of gillnet selectivity curve by maximum likelihood method[J]. Fisheries Science, 2001, 67(4): 644-654.
- [16] Yu M J, Zhang L Y, Liu C D, et al. Improving size selectivity of round pot for *Charybdis japonica* by configuring escape vents in the Yellow Sea, China[J]. PeerJ, 2021, 9: e12282.
- [17] Yang B Z, Zhang P, Tan Y G, et al. Size selectivity of gillnet fishery for *Nemipterus virgatus* in the South China Sea based on SELECT method[J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(5): 8-15. [杨炳忠, 张鹏, 谭永光, 等. 基于 SELECT 模型的南海金线鱼刺网选择性研究[J]. 南方水产科学, 2016, 12(5): 8-15.]
- [18] Guo H Y, Zhang X M, Gao T X. Effects of artificial shelters and feeding frequency on growth and behavior of juvenile *Sebastes schlegelii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(2): 319-331. [郭浩宇, 张秀梅, 高天翔. 人工隐蔽物及投喂频率对许氏平鲈幼鱼生长和行为的影响[J]. 中国水产科学, 2015, 22(2): 319-331.]
- [19] Qiu L H, Jiang Z Q, Qin K J. Studies on feeding and growth of fat greenling during early development[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1999, 6(3): 1-4. [邱丽华, 姜志强, 秦克静. 大泷六线鱼仔鱼摄食及生长的研究[J]. 中国水产科学, 1999, 6(3): 1-4.]
- [20] Wang X J, Zhang X M, Huang G Q. Compensatory growth of rockfish (*Sebastes schlegelii*) following low temperature stress[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(4): 566-572. [王晓杰, 张秀梅, 黄国强. 低温胁迫对许氏平鲈补偿生长的影响[J]. 中国水产科学, 2006, 13(4): 566-572.]
- [21] Zhang S S, Sun D Q, Jiang X T, et al. Effects of chronic tetrabromodiphenyl ether stress on growth and antioxidant enzyme activity in fat greenling *Hexagrammos otakii*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2017, 32(6): 700-707. [张赛赛, 孙德启, 姜欣彤, 等. 四溴联苯醚慢性胁迫对大泷六线鱼生长及抗氧化酶活力的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2017, 32(6): 700-707.]
- [22] Liu Y, Han H Z, Wang T T, et al. Analysis of growth performances and genetic characteristics of fast-growing breeding populations of *Sebastes schlegelii*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2018, 49(2): 432-443. [刘阳, 韩慧宗, 王腾腾, 等. 许氏平鲈(*Sebastes schlegelii*)速生选育群体的生长性能与遗传特征分析[J]. 海洋与湖沼, 2018, 49(2): 432-443.]
- [23] Guo T, Song N, Liu S D, et al. Comparison of genetic diversity between the released population and the wild population of *Hexagrammos otakii*[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(12): 1976-1986. [郭婷, 宋娜, 刘淑德, 等. 大泷六线鱼放流群体与野生群体遗传多样性比较[J]. 水产学报, 2020, 44(12): 1976-1986.]
- [24] Wang X J, Zhang S M, Li J F, et al. Studies on histology and gene expression pattern of primitive gonadal differentiation and sex hormone level of black rockfish *Sebastes schlegelii*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2019, 49(S2): 8-20. [王孝杰, 张思敏, 李吉方, 等. 许氏平鲈早期性腺分化组织学与性激素水平、性腺分化相关基因表达特征[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(S2): 8-20.]
- [25] Wen H S, Wang L S, Mou X J, et al. Study on the annual variation of testis development of *Hexagrammos otakii* Jordan and starks[J]. Periodical of Ocean University of China, 2007, 37(4): 581-585. [温海深, 王连顺, 牟幸江, 等. 大泷六线鱼精巢发育的周年变化研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2007, 37(4): 581-585.]
- [26] Zhang M M, Liu Y, Xie T, et al. Growth, mortality and reasonable utilization of *Sebastes schlegelii* in the artificial reef area of Weihai, Shandong Province[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(9): 1925-1936. [张萌萌, 刘岳, 解涛, 等. 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[J]. 水产学报, 2019, 43(9): 1925-1936.]
- [27] 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. [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(自然科学版), 2018, 48(11): 51-59.]
- [28] Tang Y L, Zhang W H, Liu Y, et al. Selectivity of fish traps with different size mesh and hanging ratio for *Sebastes schlegelii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(3): 586-591. [唐衍力, 张武浩, 刘岳, 等. 不同尺寸网目与缩结系数对许氏平鲈的选择性[J]. 中国水产科学, 2019, 26(3): 586-591.]
- [29] Liu Y H, Yu H, Chen Y, et al. Selectivity of fish traps with different mesh sizes for masked greenling *Hexagrammos otakii*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2016, 31(1): 109-112. [刘永虎, 于汉, 陈勇, 等. 大泷六线鱼鱼笼网具网目选择性的研究[J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(1): 109-112.]
- [30] Akiyama S, Kaihara S, Arimoto T, et al. Size selectivity of a trammel net for oval squid *Sepioteuthis lessoniana*[J]. Fisheries Science, 2004, 70(6): 945-951.
- [31] Mahon R, Hunte W. Trap mesh selectivity and the management of reef fishes[J]. Fish and Fisheries, 2001, 2(4): 356-

- 375.
- [32] Kinacigil H T, Akyol O. Effects on trawl selectivity of growth and reproduction in *Diplodus annularis* L. of Izmir Bay (Aegean Sea)[J]. Archive of Fishery and Marine Research, 2001, 49(1): 19-26.
- [33] Hamley J M. Review of gillnet selectivity[J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1975, 32(11): 1943-1969.
- [34] Chen D G, Ye Z J, Duan Y, et al. A preliminary study on the biology and seedling breeding of the breeding population of *Sebastes schlegelii*[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1994, 16(3): 94-101. [陈大刚, 叶振江, 段钰, 等. 许氏平鲈繁殖群体的生物学及其苗种培育的初步研究[J]. 海洋学报, 1994, 16(3): 94-101.]
- [35] Feng Z X, Han H. Rational utilization of *Hexagrammos otakii* resources[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 1998, 13(2): 24-28. [冯昭信, 韩华. 大泷六线鱼资源合理利用的研究[J]. 大连水产学院学报, 1998, 13(2): 24-28.]
- [36] Tang Y L, Liu Y, Liu C D, et al. Improving the accordion-shaped trap selectivity for black rockfish by mounting escape vents: A case study from the small-scale fishery in Shandong, China[J]. Fisheries Research, 2019, 219: 105317.
- [37] Shandong Provincial Department of Oceans and Fisheries. Implementation plan for special rectification of marine fishing gear in Shandong Province[Z]. 2014-02-26. [山东省海洋与渔业厅. 山东省海洋捕捞渔具专项整治行动实施方案[Z]. 2014-02-26.]
- [38] Stergiou K I, Karpouzi V S. Length-girth relationships for several marine fishes[J]. Fisheries Research, 2003, 60(1): 161-168.
- [39] Reis E G, Pawson M G. Fish morphology and estimating selectivity by gillnets[J]. Fisheries Research, 1999, 39(3): 263-273.
- [40] Queirolo D, Flores A. Seasonal variability of gillnet selectivity in Chilean hake *Merluccius gayi gayi* (Guichenot, 1848)[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2017, 33(4): 699-708.

Selectivity of gillnets with different mesh sizes for *Sebastes schlegelii* and *Hexagrammos otakii* in artificial reef area

ZHANG Liyou¹, LIU Shude², DONG Xiuqiang², YU Mengjie¹, TANG Yanli¹

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

2. Shandong Fisheries Development and Resources Conservation Center, Yantai 264003, China

Abstract: Black rockfish (*Sebastes schlegelii*) and fat greenling (*Hexagrammos otakii*) are important commercial species in the rocky areas of China. However, in recent years, their resources have declined dramatically due to overfishing. The construction of marine ranching and artificial reefs is undergoing rapid development in China in an attempt to restore fishery resources and the ecological environment and has achieved promising results. Despite an increase in the scale of the artificial reefs and the abundance of fishery resources, the strategy by which fish are captured in the most reasonable and efficient manner in artificial reef areas is yet to be established. At present, the main methods for catching black rockfish and fat greenling include traps, hooks, and gillnets. Traps are characterized by poor size selectivity, whereas hooks have a low catch efficiency. By contrast, gillnets are widely used in coastal fisheries because of their simplicity of operation and suitability for complex bottom conditions. However, due to the small mesh size of gillnets, large numbers of juveniles are often captured. To address this issue, in this study, gillnets with four different mesh sizes (40 mm, 50 mm, 60, and 70 mm) were tested for the capture of black rockfish and fat greenling during sea trials in the artificial reef areas of Beibu Bay, Rongcheng in October 2021. A total of 340 specimens of black rockfish and 415 specimens of fat greenling were caught. The total lengths of black rockfish and fat greenling ranged from 70 to 250 mm and 80 to 250 mm, respectively. Four different selectivity models (normal, lognormal, gamma, and bi-normal) of the SELECT method were fitted to the data sets. The lognormal model provided the best fit for these two species, with the lowest deviance and AIC value. The estimated modal lengths were 114.23 mm, 142.79 mm, 171.35 mm, and 199.90 mm for black rockfish and 129.67 mm, 162.09 mm, 194.51 mm, and 226.92 mm for fat greenling for the corresponding mesh sizes of 40, 50, 60, and 70 mm, respectively. The theoretical mature body length (MBL) of black rockfish and fat greenling was set at 150 mm for analysis. The proportion of juveniles captured decreased with an increasing mesh size. These results indicate that 70 mm and 70 mm are suitable for the capture of black rockfish and fat greenling while protecting juvenile resources in artificial reef areas.

Key words: artificial reef; gillnet; *Sebastes schlegelii*; *Hexagrammos otakii*; mesh size; selectivity

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