

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.20147

东海近海蟹笼网目尺寸对三疣梭子蟹的选择性

张健^{1,2,3}, 王佚兮¹, 裴占文¹, 石建高⁴, 初文华^{1,2,3}

1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;
2. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海海洋大学, 上海 201306;
3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海海洋大学, 上海 201306;
4. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090

摘要: 不断壮大的东海近海笼壶渔业对三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)等甲壳类资源造成了巨大的压力, 实施养护幼蟹的管理措施已成为渔业管理者和生产者的共同呼声。本研究通过海上对比试验, 分析了放大网目尺寸对蟹笼渔获效率的影响, 运用 SELECT 模型估算了蟹笼对三疣梭子蟹的尺寸选择性, 结合混合影响模型探讨了作业时间和可捕群体对选择性分析的影响。结果显示, 对照蟹笼(网目尺寸 32.0 mm)与试验蟹笼(网目尺寸分别为 52.3 mm 和 59.7 mm)的三疣梭子蟹渔获甲宽分布存在显著性差异; SELECT 模型拟合结果显示试验蟹笼与对照蟹笼的相对作业强度无显著性差异, 网目尺寸分别为 52.3 mm 和 59.7 mm 的试验蟹笼对三疣梭子蟹的 50%选择甲宽(CW₅₀)分别为 86.9 mm 和 90.9 mm, 选择范围分别为 15.9 mm 和 9.2 mm。试验蟹笼的 CW₅₀ 远未达到浙江省等当前的最小可捕尺寸规定, 表明蟹笼渔业中仅依靠放大网目尺寸可能难以实现幼蟹的有效释放。结果分析显示, 在此次试验中作业时间和可捕群体的数量对蟹笼的选择性没有显著性影响。

关键词: 蟹笼; 网目尺寸; 选择性; 三疣梭子蟹; 作业时间; 可捕群体

中图分类号: S972

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)11-1341-09

甲壳类作为许多海洋经济鱼类的重要捕食种类, 是海洋生态系统中物质传递和能量流动的重要载体, 占据着承上启下的位置, 决定着海洋生态系统的许多重要生态过程。从 20 世纪 90 年代初开始, 中国近海传统经济鱼类资源衰退, 虾蟹类资源发生量逐步增加, 以三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)为代表的蟹类已成为了东海近海生态系统中的优势物种。随着以蟹类为目标种类的笼壶、刺网和桁拖网等渔业捕捞强度不断增大, 给蟹类资源带来了巨大的生存压力, 导致蟹笼等渔业 CPUE 逐年下降^[1-4]。降低捕捞强度、养护幼蟹资源已成为我国近海蟹笼渔业管理者和生产者的共同呼声。浙江省于 2015 年制定地方标准并出台管理规定, 将三疣梭子蟹的最小可捕规格确定为体重 125 g 或甲长 60 mm^[5-6], 2017 年将可捕规

格调整至体重 70 g 或甲长 49 mm^[7]。

全球各种甲壳类笼壶渔业的实践证明, 优化笼壶整体结构^[8-10]、改变入口形状或数量^[9,11-12]、安装释放装置^[9,13-19]和改变网目尺寸^[9,20-23]等是改善笼壶渔获性能、减少幼体捕获常用的技术手段。我国东海蟹笼渔业中, 已有不少学者开展了安装释放装置对蟹笼渔获性能的优化试验和研究^[24-27]。然而关于网目尺寸对幼蟹释放效果关注相对较少, 吴常文^[26]通过水池观察发现增大网目尺寸能增加幼蟹的逃逸, 但这一效果缺乏在海上实际环境下的验证。选择合适的网目尺寸不仅可以保证笼壶对甲壳类可捕群体的渔获效率, 同时还能有效减少幼蟹的捕获^[9,21-23,28-29], 但渔获效果容易受到浸泡时间^[22,30-32]和可捕群体数量等因素^[9,33]的影响。有鉴于此, 本研究使用不同网目尺

收稿日期: 2020-05-17; 修订日期: 2020-06-16.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31001138).

作者简介: 张健(1979-), 男, 副教授, 研究方向为生态型渔具渔法. E-mail: j-zhang@shou.edu.cn

寸的蟹笼进行海上对比试验,分析放大网目尺寸对蟹笼渔获性能的影响,并探索作业时间和可捕群体等因素对网目尺寸选择性的影响,以期为今后开展蟹笼渔获性能优化研究和蟹笼渔业的管理提供参考。

1 材料与方 法

1.1 海上渔获试验

海上试验于 2013 年 5 月在 32°10'N~32°18'N, 123°22'E~123°27'E 范围海域开展,作业深度 35~40 m。试验渔船为“浙嵊渔 09101”,船长 46.0 m,主机功率 290 kW。

为分析蟹笼渔具网目尺寸对主要捕捞对象的选择性,采用生产作业中的常规蟹笼^[34]作为对照笼,该渔具框架外形呈圆柱形,笼径 60 cm,笼高 25 cm,外罩网衣网目尺寸(2a) (32.0±0.6) mm;蟹笼的 6 个侧面中,间隔设置 3 个外大内小、末端呈扁椭圆形的网片式漏斗状入口。试验笼采用网目尺寸分别为(52.3±1.2) mm,名义网目尺寸 50 mm,后称为 50 mm 试验笼)和(59.7±0.7) mm,名义网目尺寸 60 mm,后称为 60 mm 试验笼)的网衣替代普通蟹笼外罩网衣,其余结构、材料和安装工艺均与对照蟹笼保持一致(图 1)。



图 1 蟹笼结构示意图

左为对照笼,右为 50 mm 网目尺寸试验笼。

Fig. 1 Geometry of the control pot (left) and experimental pot with 50 mm mesh size

海上试验中,选用 2 种试验笼和对照笼各 10 只进行渔获对比试验;操作方式与常规作业保持一致,即采用延绳作业方式,在一条干线上以随机顺序、连续挂钩试验笼或对照笼投放,蟹笼间隔 7~8 m,支线长度 0.5~0.6 m。海上试验共完成

6 个有效的起放笼试验(后称网次),网次作业时间 5~15 h。起笼后,对渔获中捕获的所有三疣梭子蟹测量甲宽,按照间隔 1 cm 分组。

1.2 数据分析

1.2.1 网次选择性分析方法 对比试验笼和对照笼的渔获甲宽分布,使用 SELECT 模型分析试验笼对三疣梭子蟹的尺寸选择性^[35-36]。在 SELECT 模型中,第 i 网次中试验笼捕获的 CW_j 甲宽个体的渔获数量(C_{Eij})占该甲宽组总渔获数量(试验笼渔获数量 C_{Eij} 和对照笼渔获数量 C_{Cij} 之和)的比例

$$\Phi_{ij} = \frac{C_{Eij}}{C_{Eij} + C_{Cij}} = \frac{p_i \cdot S_i(CW_j)}{p_i \cdot S_i(CW_j) + 1 - p_i}$$

式中, $S_i(CW_j)$ 为第 i 网次试验笼对甲宽 CW_j 捕捞对象的尺寸选择性; p_i 为第 i 网次的相对作业强度,表示在第 i 网次试验中,必定会进入对照笼和试验笼的个体进入试验笼的概率,通过假设检验 $p_i=0.5$ 可以判别对照笼和试验笼是否具有相同作业强度。

选用 Logistic 曲线作为选择性曲线模型^[37-38],第 i 网次的方程为

$$S_i(CW_j) = \frac{\exp(a_i + b_i \cdot CW_j)}{1 + \exp(a_i + b_i \cdot CW_j)}$$

式中, $v_i=(a_i, b_i)^T$ 为第 i 网次的选择性参数。

主要的选择性指标 50%选择甲宽(CW_{i50})和甲宽选择范围(SR_i)分别为:

$$CW_{i50} = -\frac{a_i}{b_i}; SR_i = \frac{2 \ln 3}{b_i}$$

使用极大似然估计法进行各网次选择性参数 $v_i=(a_i, b_i)^T$ 和相对作业强度 p_i 估算,对数似然函数为

$$l(\theta_i) = \sum_j [C_{Eij} \cdot \ln(\Phi_{ij}) + C_{Cij} \cdot \ln(1 - \Phi_{ij})]$$

似然函数最大化、假设检验等实现的方法参见参考文献[27]。

1.2.2 浸泡时间和可捕群体对选择性的影响 将三疣梭子蟹个体笼行为与入笼后的逃逸行为视为 2 个相互独立的过程,即各网次的选择性参数 $(a_i, b_i)^T$ 与相对作业强度 p_i 相互独立,因此只分析浸泡时间 T_i 和可捕群体(对照笼平均渔获数量) N_i 对选择性参数的影响。

采用混合影响模型(mixed effect model)分析上述因素对蟹笼网目尺寸选择性的影响^[36]。在该模型中, 将网目尺寸、作业时间和可捕群体数量对不同试验笼的选择性影响视为固定影响, 而将不同网次间差异视为随机影响。建立各因素对各网次选择性参数定量影设计矩阵 X_i :

试验笼 1:

$$X_{1i} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & T_i & 0 & N_i & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & T_i & 0 & N_i \end{pmatrix}$$

试验笼 2:

$$X_{2i} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & T_i & 0 & N_i & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & T_i & 0 & N_i \end{pmatrix}$$

每个网次的选择性参数期望值 $\hat{v}_i = (\hat{a}_i, \hat{b}_i)^T$ 应服从二元正态分布:

$$\hat{v}_i \sim N(X_i \alpha, R_i + D)$$

式中, α 是定量描述各可控因素对选择性参数的影响的 8×1 阶参数矩阵; R_i 是每个网次选择性参数估计值的 2×2 阶协方差矩阵; D 为随机 2×2 阶随机误差矩阵。

通过对参数矩阵 α 的各元素等于 0 进行假设检验, 可以判别各因素对试验笼网目尺寸选择性影响的显著性: 例如接受 $\alpha_3=0$ 假设就可以认为网目尺寸的改变对选择性参数 a 的影响不显著, 而接受 $\alpha_6=0$ 则可以认为作业时间对选择性参数 b 的影响不显著。根据试验设计, 单一网次中, 试验笼和对照笼作业位置和作业时间均相同, 且试验笼之间除网目尺寸以外结构完全一致, 因此在探讨作业因素对选择性的影响时, 认为试验笼之间不存在差异。使用限制极大似然估计法对 α 和 D 进行参数估计, 限制极大似然函数、方差矩阵 D 和参数矩阵 α 的表达、函数最大化、假设检验等的实现可参见参考文献[39]。

2 结果与分析

2.1 渔获甲宽分布

海上试验捕获的三疣梭子蟹总计 682 尾(对照笼、50 mm 和 60 mm 试验蟹笼分别为 270 尾、218 尾和 194 尾), 尾数占总渔获量的 93%。试验蟹笼和对照蟹笼的三疣梭子蟹渔获甲宽分布如图 2 所示。

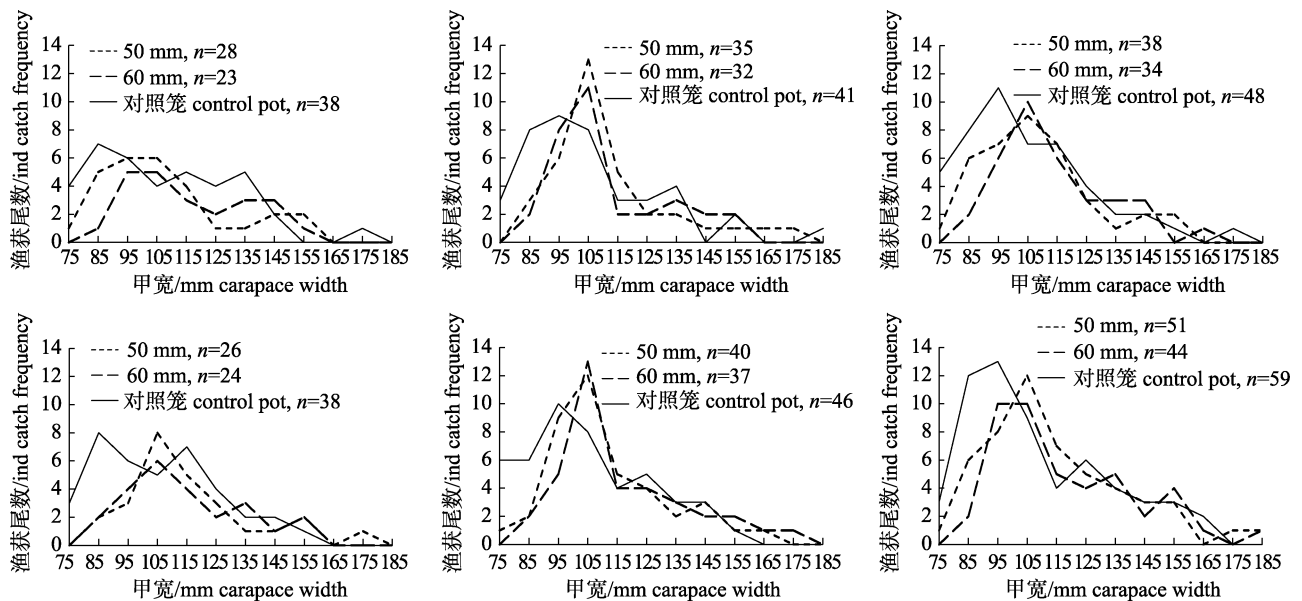


图 2 试验蟹笼与对照蟹笼的不同网次三疣梭子蟹渔获甲宽分布

Fig. 2 Catch frequency with carapace width (CW) of swimming crab *Portunus trituberculatus* caught by different experimental and control pots in six hauls

从图 2 中可以看出, 随着网目尺寸的增加, 蟹笼捕获的三疣梭子蟹渔获组成中小个体渔获数量所占比例逐渐减少。根据浙江省现行管理规定

的可捕规格, 按体重 70 g 作为最小上岸尺寸, 结合体重与甲宽的关系^[2,40], 对照笼、50 mm 和 60 mm 试验蟹笼渔获中, 达到最小可捕规格(甲宽大

于 110 mm)的个体占总渔获的比例逐渐上升,分别为(38.47±5.24)%、(42.04±5.36)%和(47.49±5.54)%。利用双样本 K-S 检验分析对照笼与试验笼捕获的三疣梭子蟹渔获分布差异,结果显示对照蟹笼所捕获的三疣梭子蟹甲宽分布显著小于 2 种试验蟹笼的甲宽分布($P<0.001$),而 2 种试验笼的渔获甲宽分布没有显著差异($P=0.295$);利用多样本 K-S 检验分析不同网次间对照笼的三疣梭子蟹甲宽分布,结果显示网次间没有显著差异($P=0.760$)。

2.2 试验蟹笼的网次选择性

利用 SELECT 模型对不同网次对照笼和试验笼的渔获分布进行拟合,获得各网次、不同试验笼的网目尺寸选择性参数和选择性指标,如表 1 所示。通过假设检验,发现试验笼各网次均接受

相对作业强度 $p_i=0.5$ 假设,表明蟹笼网目尺寸的增大并没有影响到蟹笼的相对作业强度,即个体进入试验笼和对照笼的行为不受网目尺寸变化的影响。在此基础上,试验笼各网次选择性曲线如图 3 (灰色虚线和黑色点划线)所示。

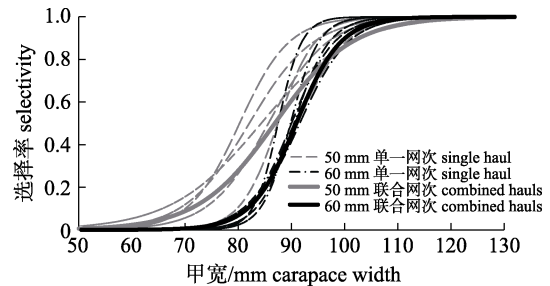


图 3 试验笼对三疣梭子蟹的选择性曲线
Fig. 3 Selection curves of experimental pots for swimming crab, *Portunus trituberculatus*

表 1 各网次试验笼的选择性参数

Tab. 1 Estimates of selectivity parameters of experimental pots for each deployment

网次 haul no.	试验笼 experimental pot	相对作业强度 relative fishing power		选择性参数 selectivity parameter		选择性指标 selectivity index		浸泡时间 T_i/h soak time	可捕群体 N_i/ind average catch
		估计值 estimates	$H_0: p_i=0.5$ P 值	a	b	CW_{50}	SR		
1	50	0.448	0.217	-17.27(18.06)	0.22(0.23)	80.24(6.08)	10.21(10.91)	6	3.8
	60	0.449	0.568	-34.13(39.72)	0.38(0.47)	89.84(6.49)	5.78(7.09)		
2	50	0.541	0.172	-25.00(31.38)	0.29(0.37)	87.45(5.68)	7.69(10.04)	5	4.1
	60	0.504	0.631	-43.92(355.9)	0.50(4.19)	87.49(8.23)	4.87(14.41)		
3	50	0.476	0.870	-13.63(16.77)	0.17(0.21)	82.07(6.45)	13.23(16.71)	15	4.8
	60	0.515	0.420	-20.13(11.13)	0.22(0.13)	91.57(4.67)	9.99(5.79)		
4	50	0.491	0.759	-20.01(14.22)	0.22(0.16)	91.10(5.76)	10.00(7.51)	9	3.8
	60	0.450	0.921	-22.46(22.13)	0.25(0.26)	90.01(6.38)	8.80(9.16)		
5	50	0.542	0.889	-15.45(8.61)	0.18(0.10)	85.66(5.49)	12.19(6.99)	10	4.6
	60	0.551	0.552	-20.50(11.59)	0.23(0.14)	90.53(5.24)	9.71(5.79)		
6	50	0.536	0.473	-9.97(7.16)	0.12(0.08)	84.31(6.87)	18.59(13.07)	8	5.9
	60	0.508	0.945	-27.42(17.91)	0.30(0.21)	90.48(3.96)	7.25(4.96)		
综合网次 combined	50	-	-	-12.04(4.34)	0.14(0.05)	86.88(3.13)	15.85(5.94)	-	-
	60	-	-	-21.76(6.71)	0.24(0.08)	90.92(2.33)	9.18(2.99)	-	-

注: 括号中的数字表示参数标准误。

Note: Numbers in the brackets indicate standard errors of the parameter estimates.

从表 1 和图 3 中可以看出, 60 mm 试验笼的 SR 较 50 mm 试验笼小, 而除网次 4 以外, 60 mm 试验笼 CW_{50} 比 50 mm 试验笼 CW_{50} 大。

2.3 作业因素对选择性的影响

各网次的作业时间 T_i 、对照笼的平均渔获尾数分别如表 1 所示, 皮尔逊相关性检验结果显示

作业时间和可捕群体之间不存在显著的相关性关系($P=0.569$)。

使用混合影响模型分析上述作业因素以及网目尺寸对选择性参数 v_i 的影响, 通过假设检验来判断这些影响的显著性, 结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出, $H_0: \alpha_5=0$ 和 $\alpha_6=0$ 的假设均

表 2 网目尺寸、作业时间和可捕群体和对选择性参数的影响
 Tab. 2 Effect of mesh size, soak time and available population on selectivity parameters

选择性参数 selectivity parameter	H_0 : 对选择性参数的影响 hypothesis test: effect on selectivity parameters					
	网目尺寸 mesh size		作业时间 soak time		可捕群体 available population	
	$\alpha_3=0$	$\alpha_4=0$	$\alpha_5=0$	$\alpha_6=0$	$\alpha_7=0$	$\alpha_8=0$
a	0.252	—	0.789	—	0.799	—
b	—	0.311	—	0.801	—	0.820
$a \& b$	0.067		0.939		0.915	

不能被拒绝(P 值分别是 0.789 和 0.801), 表明作业时间对试验笼网目尺寸选择性参数的影响不显著; 类似的, $H_0: \alpha_7=0$ 和 $\alpha_8=0$ 的假设也不能被拒绝(P 值分别是 0.799 和 0.820), 表明可捕群体(对照网的平均渔获尾数)对选择性参数的影响同样不显著。

对于 2 种试验笼, 虽然 $H_0: \alpha_3=0$ 和 $\alpha_4=0$ 单独假设时同样无法拒绝(P 值分别是 0.252 和 0.311), 但网目尺寸对蟹笼整体选择性影响不显著的结论需要谨慎对待($P=0.067$), 从图 2 不同网次选择性曲线也可以看出, 2 种试验笼的选择性曲线整体上存在较为明显的差异。

将作业时间和渔获数量因素忽略后, 综合多个网次, 2 种试验笼对三疣梭子蟹的尺寸选择性参数和选择性指标如表 1 所示, 选择性曲线如图 3 (实线)所示。不难发现, 60 mm 试验笼的 CW_{50} (90.92 mm)比 50 mm 试验笼(86.88 mm)大 4.6%; 然而, 60 mm 试验笼的 SR (9.18 mm)却小于 50 mm 试验笼(15.85 mm)。

3 讨论

甲壳动物笼壶渔业中, 规定最小网目尺寸可以实现捕捞对象幼体在起笼前从网目主动逃逸, 减轻渔民在甲板上分拣渔获的劳动强度, 避免幼体在分拣和抛弃过程中的损伤, 如南非岩龙虾(*Jasus lalandii*)笼渔业中规定最小网目尺寸为 100 mm^[29], 克罗地亚在地中海挪威海螯虾(*Nephrops norvegicus*)规定最小网目尺寸为 36 mm 或 40 mm (不同作业区域)^[21], 澳大利亚远洋梭子蟹(*Portunus armatus*)规定最小网目尺寸为 100 mm^[41]。以三疣梭子蟹为主捕对象的东海近海蟹笼渔业已历经 30 多年, 作业范围涉及浙江、江苏和福建等省份, 年产量

一度超过 40 万 t, 然而对蟹笼渔具准入等管理措施仍不完善。由于缺乏网目尺寸相关的海上试验研究, 东海蟹笼渔具从 20 世纪 80 年代末开始至今, 蟹笼外罩网衣网目尺寸几乎没有变化。本研究证明, 网目尺寸的改变会显著改变蟹笼对三疣梭子蟹的渔获效率, 50 mm 和 60 mm 网目尺寸的试验笼具有较小的选择范围; 2 种试验笼仍捕获相当数量的幼蟹, CW_{50} 分别仅为 86.9 mm 和 91.9 mm, 远未达到浙江省要求的开捕标准(根据推算甲宽可捕规格 110 mm), 意味着若要依靠增大网目尺寸实现小个体的释放, 所需的网目尺寸要远大于 60 mm, 或者说仅依靠网目尺寸的管理可能难以实现选择性捕捞的管理目标。前期的研究证实东海近海蟹笼渔业中, 安装幼蟹释放装置被证实是一种有效的技术手段^[24-27], 而 Broadhurst 等^[41]通过试验发现同时增大网目尺寸和安装幼蟹释放装置对渔获性能的优化具有叠加效应, 因此研究认为今后有必要进一步深入开展网目尺寸与释放装置的海上试验, 以寻求更为妥善的技术手段。

甲壳动物笼壶渔业中, 通过放大网目尺寸、安装逃逸装置等手段释放幼体可以降低笼壶的饱和度、提高笼壶的作业能力^[9,42-43], 体现在 SELECT 模型中便是试验笼的相对作业强度通常会大于对照笼^[29,44-46], 然而也有研究结果显示网目尺寸的增大不影响试验笼的相对作业强度^[47], 甚至有研究发现当作业区域内幼体较多时小网目的蟹笼具有更高的渔获能力^[48-49]。本研究结果显示 6 个网次中试验笼和对照笼相对作业强度相同的假设均未被拒绝, 表明个体的入笼行为并没有受到网目尺寸变化及造成渔获数量变化等的影响, 其原因可能是东海近海蟹笼渔业具有渔具规格较小、诱饵使用量少、作业间距小等作业特点, 诱饵可以

短时间内将蟹笼可捕区域内的个体吸引入笼,因此个体对不同蟹笼的反应行为差异小。此外,试验中对对照笼和试验笼的每网次笼内平均渔获数量差异较小(分别为对照笼 4.5 尾、50 mm 试验笼 3.6 尾和 60 mm 试验笼 3.2 尾),且所捕获的群体个体普遍较小,也可能是导致个体入笼行为无差异的原因。

蟹笼外罩网衣固定于刚性框架,网目张开形状始终不变(侧面网衣网目为缩结系数为 0.707 的菱形网目),且三疣梭子蟹头胸甲可以视为刚性,这正符合几何相似原理的假设^[50],若忽略不同尺寸个体的行为差异,那么不同网目尺寸的试验笼应具有相似形状的选择性曲线。然而分析结果显示,50 mm 试验笼的 CW_{50} 较 60 mm 试验笼小但相差不大,而 50 mm 网目尺寸试验笼 SR 范围较大,这有悖于几何相似理论。甲壳类笼壶渔具渔获性能优化研究中,为了评价渔获性能的优化程度,通常会使用生产作业中的笼壶作为对照组。本试验中的对照笼的网目尺寸为 32 mm,而试验笼的网目尺寸分别选择了 50 mm 和 60 mm (名义值),未能遵循 Jeong 等^[47]、Mituhasi 等^[51]在拖网等渔具选择性研究设计中对照网网目应小于实验网网目的 1/2 的要求^[38]。对照网网目过大会导致选择性分析时高估选择性指标,且这一影响会随着与对照网网目差异的增大减小。此外,蟹笼内的个体不仅可以通过网目逃逸,也可以直接从入口逃逸^[9,23],且诱饵对个体的吸引具有尺寸选择^[27],都可能是造成蟹笼选择性曲线偏差的原因。

甲壳类动物在笼壶中的逃逸行为显示,笼内个体会调整方向,以最适的姿态从逃逸装置或者网目中逃逸^[9,52-53],个体头胸甲和网目张开形状之间的匹配关系是决定个体是否可以逃逸的关键因素^[23]。本研究中,蟹笼渔具侧面网衣网目为缩结系数 0.707 的菱形网目,52.3 mm 和 59.7 mm 网目的缩结宽度分别为 37.0 mm 和 42.2 mm;而 2 种试验笼的 CW_{50} 分别为 86.9 mm 和 90.9 mm,对应的 50%选择甲长(CL_{50} ,根据张健等^[2]的 $CW-CL$ 关系)分别为 37.4 mm (可能被高估)和 39.0 mm;不难想象,个体必定是侧身穿越网目逃逸,而个体甲长是决定其能否从网目中穿越逃逸的关键。

放大网目的蟹笼相比安装幼蟹释放装置的选择性曲线更加平缓^[28],50 mm 和 60 mm 网目试验笼的选择范围分别是 15.9 mm (可能被高估)和 9.2 mm,表明放大网目尺寸后蟹笼内仍有理应可以从网目逃逸的较小个体,Schoeman 等^[29]将这一现象解释为甲壳类幼体会以蟹笼作为躲避捕食的避难所,而 Groeneveld 等^[23]则认为较短的浸泡时间没有给幼体提供足够多的逃逸机会。

影响笼壶渔具作业性能的因素有很多,作业时间是决定笼壶渔获性能最为重要的作业参数之一。随着作业时间的增加,起先诱饵散发的气味迅速扩散,入笼数量迅速增加,随着气味散发速度降低,入笼数量的增加逐渐趋缓,直至气味停止扩散时入笼数量达到最大(笼壶处于饱和状态),而后笼内的个体逃逸超过入笼数量,渔获数量开始下降^[9,20]。东海近海蟹笼渔业中网次作业时间为 4~24 h (此次试验 6 个网次的作业时间为 5~15 h),主要取决于渔船携带的蟹笼数量、起放笼时间、天气和生产效益(通常渔获量较高的时候网次作业时间较短)等。吴常文^[26]在水池试验中关注到了作业时间对蟹笼渔获性能的影响,但水池中的试验结果可能与实际情况相差甚远^[23]。本研究结果表明,作业时间和对照笼平均渔获数量无关,对选择性参数和指标的影响也不显著,这意味着在一定范围内,作业时间对蟹笼整体渔获性能无影响。可捕群体的数量和分布可以直接影响到个体在笼内外的竞争行为等,然而笼壶渔具本身通过诱饵对可捕群体进行了选择^[27],难以准确掌握可捕群体的分布。对照笼和试验笼采用了完全相同的作业方式且具有相等的作业强度(SELECT 模型中 $p_i=0.5$ 的假设不能被拒绝)意味着对照笼中的渔获数量和分布反映了可捕群体的情况,分析结果显示可捕群体对蟹笼网目尺寸选择性没有显著的影响。值得注意的是,作业时间和可捕群体对蟹笼渔获性能没有影响并不是意味着个体在笼内外没有个体间的竞争行为,相反,由于东海蟹笼规格小、诱饵少、间距短的作业特点使得个体的入笼行为和笼内的竞争逃逸行为发生得较早且较充分,渔民在较高的渔获产量时偏好缩短作业时间的做法从一个侧面也能反映这一情况。

参考文献:

- [1] Panhwar S K, Dong Z Y, Zhenghua L, et al. Population dynamics and fishery of swimming crab, *Portunus trituberculatus* in the Zhejiang fishing area, East China Sea[J]. The Journal of Animal & Plant Sciences, 2018, 28(6): 1641-1647.
- [2] Zhang J, Wang Z Q, Guan W B. Fishery biology of two crab species caught by offshore pots[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2015, 30(5): 540-545. [张健, 王忠秋, 管卫兵. 近海蟹笼两种主要渔获蟹类的渔业生物学特性[J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(5): 540-545.]
- [3] He Z T, Zhang H L, Li P F. Development of the crab pot fishery in Zhoushan from 2000 to 2009[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2011, 30(4): 313-317. [贺舟挺, 张洪亮, 李鹏飞. 2000-2009 年舟山市蟹笼渔业的发展概况[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2011, 30(4): 313-317.]
- [4] He Z T, Liu Z F, Zhou Y D. Study on status of the crab pot fishery in Zhejiang province[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2007, 26(1): 54-58. [贺舟挺, 刘子藩, 周永东. 浙江蟹笼渔业现状的探讨[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2007, 26(1): 54-58.]
- [5] Marine and Fisheries Bureau of Zhejiang Province. Announcement of implementation of relevant management systems for minimum mesh size and minimum landing size for marine fishing gears[EB/OL]. (2015-09-01) [2020-05-16]. http://wz.zjzfw.gov.cn/art/2015/9/22/art_66773_101395.html. [浙江省海洋与渔业局. 关于实施海洋渔业资源重点保护品种可捕规格及幼鱼比例制度的通告[EB/OL]. (2015-09-01) [2020-05-16]. http://wz.zjzfw.gov.cn/art/2015/9/22/art_66773_101395.html.]
- [6] Quality and Technical Supervision Bureau, Zhejiang Province. Allowable size of capture and juvenile proportion of key marine fishery resources: DB 33/T 949-2014[S/OL]. [2020-05-16]. <http://db.cnzqi.com/dbsearchinfo.aspx?ID=1786822>. [浙江省质量技术监督局. 重要海洋渔业资源可捕规格及幼鱼比例: DB 33/T 949-2014[S/OL]. [2020-05-16]. <http://db.cnzqi.com/dbsearchinfo.aspx?ID=1786822>.]
- [7] Li M S. Zhejiang Province has published the transitional standard for minimum catchable specification of key conservational species of marine fishery stocks[J]. China Fisheries, 2017(3): 23. [李明爽. 浙江发布海洋渔业资源重点保护品种最小可捕过渡性规格标准[J]. 中国水产, 2017(3): 23.]
- [8] Zhou S J, Kruse G H. Modifications of cod pots to reduce tanner crab bycatch[J]. North American Journal of Fisheries Management, 2000, 20(4): 897-907.
- [9] Miller R J. Effectiveness of crab and lobster traps[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1990, 47(6): 1228-1251.
- [10] Barry P D, Tamone S L, Tallmon D A. Evaluation of the capture efficiency and size selectivity of four pot types in the prospective fishery for North Pacific giant octopus (*Enterotopus dofleini*)[J]. Fishery Bulletin, 2010, 108(1): 39-44.
- [11] Li Y, Yamamoto K, Hiraishi T, et al. Effects of entrance design on catch efficiency of arabesque greenling traps: A field experiment in Matsumae, Hokkaido[J]. Fisheries Science, 2006, 72(6): 1147-1152.
- [12] Salthaug A. Do triggers in crab traps affect the probability of entry?[J]. Fisheries Research, 2002, 58(3): 403-405.
- [13] Tallack S M L. Escape ring selectivity, bycatch, and discard survivability in the New England fishery for deep-water red crab, *Chaceon quinqueedens*[J]. ICES Journal of Marine Science, 2007, 64(8): 1579-1586.
- [14] Boutson A, Mahasawasde C, Mahasawasde S, et al. Use of escape vents to improve size and species selectivity of collapsible pot for blue swimming crab *Portunus pelagicus* in Thailand[J]. Fisheries Science, 2008, 75(1): 25-33.
- [15] Rotherham D, Johnson D D, MacBeth W G, et al. Escape gaps as a management strategy for reducing bycatch in net-covered traps for the giant mud crab *Scylla serrata*[J]. North American Journal of Fisheries Management, 2013, 33(2): 307-317.
- [16] Brown C G. The effect of escape gaps on trap selectivity in the United Kingdom crab (*Cancer pagurus* L.) and lobster (*Homarus gammarus* L.) fisheries[J]. ICES Journal of Marine Science, 1982, 40(2): 127-134.
- [17] Gandy R L, Crowley C E, Leone E H, et al. Increasing the selectivity of the stone crab *Menippe mercenaria* trap by the addition of a cull ring[J]. North American Journal of Fisheries Management, 2018, 38(6): 1275-1283.
- [18] Broadhurst M K, Millar R B, Hughes B. Utility of multiple escape gaps in Australian *Scylla serrata* traps[J]. Fisheries Research, 2018, 204: 88-94.
- [19] Guillory V, Hein S. A review and evaluation of escape rings in blue crab traps[J]. Journal of Shellfish Research, 1998, 17(2): 551-559.
- [20] Olsen L, Herrmann B, Sistiaga M, et al. Effect of gear soak time on size selection in the snow crab pot fishery[J]. Fisheries Research, 2019, 214: 157-165.
- [21] Brčić J, Herrmann B, Mašanović M, et al. Size selection of *Nephrops norvegicus* (L.) in commercial creel fishery in the Mediterranean Sea[J]. Fisheries Research, 2018, 200: 25-32.
- [22] Winger P D, Walsh P J. Selectivity, efficiency, and underwater observations of modified trap designs for the snow crab (*Chionoecetes opilio*) fishery in Newfoundland and Labrador[J]. Fisheries Research, 2011, 109(1): 107-113.
- [23] Groeneveld J C, Khanyile J P, Schoeman D S. Escapement

- of the cape rock lobster (*Jasus lalandii*) through the mesh and entrance of commercial traps[J]. *Fishery Bulletin*, 2005, 103(1): 52-62.
- [24] Zhang H L, Xu H X, Huang H L, et al. Selectivity of crab pot for *Portunus trituberculatus* in the East China Sea region[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(8): 1277-1284. [张洪亮, 徐汉祥, 黄洪亮, 等. 东海区蟹笼渔具的选择性研究[J]. *水产学报*, 2010, 34(8): 1277-1284.]
- [25] Zhang H L, Lin X P, Xu H X, et al. Design and experiment on selective crab pot for *Portunus trituberculatus*[J]. *Fishery Modernization*, 2010, 37(4): 49-53. [张洪亮, 林显鹏, 徐汉祥, 等. 选择性梭子蟹笼的设计与试验[J]. *渔业现代化*, 2010, 37(4): 49-53.]
- [26] Wu C W. Preliminary tests on a kind of crab pot for portecting resrouces[J]. *Marine Fisheries*, 1996, 18(3): 114-116. [吴常文. 一种资源保护型蟹笼的初步试验[J]. *海洋渔业*, 1996, 18(3): 114-116.]
- [27] Bai L, Zhang X F, He P G, et al. Relative selectivity of crab pots for *Portunus trituberculatus* based on stownet catch in the East China Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(2): 340-346. [白伦, 张新峰, He Pingguo, 等. 基于张网渔获的蟹笼渔具对三疣梭子蟹的相对选择性[J]. *中国水产科学*, 2015, 22(2): 340-346.]
- [28] Nishiuchi S. A study on size-selectivity of hair crab pots[R]. *Scientific Reports of Hokkaido Fisheries Experimental Station*, 2003, 64: 1-103.
- [29] Schoeman D S, Cockcroft A C, van Zyl D L, et al. Trap selectivity and the effects of altering gear design in the South African rock lobster *Jasus lalandii* commercial fishery[J]. *South African Journal of Marine Science*, 2002, 24(1): 37-48.
- [30] Brown P, Hunt T L, Giri K. Effects of gear type, entrance size and soak time on trap efficiency for freshwater crayfish *Cherax destructor* and *C. albidus*[J]. *Marine and Freshwater Research*, 2015, 66(11): 989-998.
- [31] Montgomery S S. Effects of trap-shape, bait, and soak-time on sampling the eastern rock lobster, *Jasus verreauxi*[J]. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2005, 39(2): 353-363.
- [32] Groeneveld J C, Butterworth D S, Glazer J P, et al. An experimental assessment of the impact of gear saturation on an abundance index for an exploited rock lobster resource[J]. *Fisheries Research*, 2003, 65(1-3): 453-465.
- [33] Krouse J S. Performance and selectivity of trap fisheries for crustaceans[M]// Caddy J. *Marine Invertebrate Fisheries: Their Assessment and Management*. New York: John Wiley, 1989: 307-325.
- [34] Lin H B, Zheng J, Wang Y M. Investigation on the fishing gears and methods of crab pot in Daishan county of Zhejiang province[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2013, 32(4): 319-322. [林杭宾, 郑基, 王玉明. 浙江岱山蟹笼渔具渔法调查分析[J]. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2013, 32(4): 319-322.]
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] Millar R B, Walsh S J. Analysis of trawl selectivity studies with an application to trouser trawl[J]. *Fisheries Research*, 1992, 13(3): 205-220.
- [38] Wileman D A, Ferro R S T, Fonteyne R, et al. Manual of methods of measuring the selectivity of towed fishing gears[R]. Copenhagen Denmark, ICES, 1996.
- [39] Bai L, Zhang J. Implementation of mixed effect model in selectivity analysis of fishing gears based on Excel VBA[J]. *Marine Fisheries*, 2013, 35(3): 343-348. [白伦, 张健. 混合影响模型在渔具选择性分析中的 Excel VBA 实现[J]. *海洋渔业*, 2013, 35(3): 343-348.]
- [40] Wang X G, Wang Y B, Ye T. A preliminary analysis of the growth characteristics of *Portunus trituberculatus*[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2018(2): 131-136. [王小刚, 王迎宾, 叶婷. 三疣梭子蟹生长特性的初步分析[J]. *海洋湖沼通报*, 2018(2): 131-136.]
- [41] Broadhurst M K, Smith T M, Millar R B, et al. Cumulative selectivity benefits of increasing mesh size and using escape gaps in Australian *Portunus armatus* traps[J]. *Fisheries Management and Ecology*, 2019, 26(4): 319-326.
- [42] Guillory V, Prejean P. Blue crab, *Callinectes sapidus*, trap selectivity studies: Mesh size[J]. *Marine Fisheries Review*, 1997, 59(1): 29-31.
- [43] Stevens B, Wray T. Crab bycatch in pot fisheries: causes and solutions[C]//Alaska Sea Grant College Program. *Solving bycatch: Considerations for Today and Tomorrow*. Seattle, Washington: University of Alaska, Sea Grant College Program, 1995: 151-158.
- [44] Xu X C, Millar R B. Estimation of trap selectivity for male snow crab (*Chionoecetes opilio*) using the SELECT modeling approach with unequal sampling effort[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1993, 50(11): 2485-2490.
- [45] Treble R J, Millar R B, Walker T I. Size-selectivity of lobster pots with escape-gaps: Application of the SELECT method to the southern rock lobster (*Jasus edwardsii*) fishery in Victoria, Australia[J]. *Fisheries Research*, 1998, 34(3): 289-305.
- [46] Broadhurst M K, Butcher P A, Cullis B R. Effects of mesh size and escape gaps on discarding in an Australian giant mud crab (*Scylla serrata*) trap fishery[J]. *PLoS ONE*, 2014, 9(9): e106414.

- [47] Jeong E C, Park C D, Park S W, et al. Size selectivity of trap for male red queen crab *Chionoecetes japonicus* with the extended SELECT model[J]. *Fisheries Science*, 2000, 66(3): 494-501.
- [48] Montano F. Effectiveness of two pots and others factors for harvesting hard blue crabs *Callinectes sapidus* in Lake Maracaibo, Venezuela[J]. *Ciencia (Maracaibo)*, 1997, 5(2): 111-118.
- [49] Grati F, Polidori P, Scarcella G, et al. Estimation of basket trap selectivity for changeable *Nassa (Nassarius mutabilis)* in the Adriatic Sea[J]. *Fisheries Research*, 2010, 101(1-2): 100-107.
- [50] Zhang J, Sun M C. Application of geometrical similarity principle on mesh selectivity research of filter fishing gear[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2005, 12(3): 314-320. [张健, 孙满昌. 几何相似原理在过滤性渔具网目选择性研究中的应用[J]. *中国水产科学*, 2005, 12(3): 314-320.]
- [51] Mituhasi T, Tokai T, Ercoli R, et al. Estimating codend selectivity and fish escapement from a covernet of an insufficiently small mesh size[J]. *Fisheries Science*, 2000, 66(2): 327-333.
- [52] Broadhurst M K, Millar R B, Hughes B. Performance of industry-developed escape gaps in Australian *Portunus pelagicus* traps[J]. *Fisheries Research*, 2017, 187: 120-126.
- [53] Barber J S, Stanley Cobb J. Qualitative observations of Dungeness crabs, *Cancer magister*, in and around traps: Evidence of resource guarding and clustering[J]. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 2009, 42(2): 135-146.

Mesh size selectivity of crab pots for swimming crab *Portunus trituberculatus* in the East China Sea

ZHANG Jian^{1,2,3}, WANG Yixi¹, PEI Zhanwen¹, SHI Jianguo⁴, CHU Wenhua^{1,2,3}

1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education; Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
3. National Engineering Research Centre for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
4. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China

Abstract: The increasing fishing effort of the crab pot fishery in the East China Sea has resulted in considerable pressure on swimming crab *Portunus trituberculatus* resources. Thus, there is an urgent need to implement conservation measures to release juvenile crabs from fishing pots to increase recruitment. In this study, sea trials were carried out to assess the effect of increasing mesh size on fishing efficiency and analyze the mesh size selectivity of crab pots for *P. trituberculatus* through a comparison experiment. Additionally, the effect of soak time and available population on the selective properties of mesh size was discussed based on the mixed effect model. The results showed that there were significant differences in *P. trituberculatus* carapace width (CW) distribution caught between the control pot with 32.0 mm mesh size and experimental pots with 52.3 mm and 59.7 mm mesh sizes. No significant difference in relative fishing power between control and experimental pots was detected according to the model fit of the catch frequency in the SELECT analysis model. The average CWs of *P. trituberculatus* with 50% probability of being retained (CW_{50}) were 86.9 mm for the pot with 52.3 mm mesh size and 90.9 mm for pot with 59.7 mm mesh size, whereas the selection ranges (SR) of CW were 15.9 mm and 9.2 mm, respectively. The finding that the *P. trituberculatus* experimental pot CW_{50} was considerably smaller than the minimum landing size set by Zhejiang Province fishery regulations indicated that it may be impractical to effectively release undersized crabs by simply relying on increased mesh size in crab pot fisheries. The results of the mixed effect model showed that the influence of soak time and available *P. trituberculatus* population on size selectivity of the pots was not significant in this study.

Key words: crab pots; mesh size; gear selectivity; *Portunus trituberculatus*; soak time; available population

Corresponding author: ZHANG Jian. E-mail: j-zhang@shou.edu.cn