

文章编号: 1004 - 7271 (2008) 06 - 0726 - 08

桁拖网渔具刚性栅栏对虾类的分隔性能

张健^{1,2}, 石建高³, 张鹏², 孙满昌¹, 钱卫国¹

1. 大洋生物资源开发和利用上海市高校重点实验室, 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;
2. 农业部渔业生态环境重点开放实验室, 广东省渔业生态环境重点实验室, 广东 广州 510300;
3. 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 201306)

摘要: 刚性栅栏是实现拖网渔具种类选择性捕捞的主要装置。通过海上生产试验, 结合 SELECT 模型分析不同栅条间距 (15 mm、20 mm 和 25 mm) 的刚性栅栏对哈氏仿对虾 (*Parapenaeopsis hardwickii*) 和葛氏长臂虾 (*Palaemon gravieri*) 的分隔性能。试验结果显示, 随着栅条间距的增大, 栅栏对虾类的重量分隔率逐渐增大; 个体接触分隔栅栏的概率可使用常数来表示, 即接触概率与个体尺寸无关; 比较不同虾类对分隔栅栏的接触概率后发现, 接触概率不存在种类间、栅栏间的显著性差异 ($P > 0.05$); 个体接触分隔栅栏的概率均大于 0.9, 说明大多数个体都接触到分隔栅栏, 但拒绝全部接触栅栏的假设, 这主要与桁拖网结构和分隔栅栏的安装有关; 随着栅条间距的增大, 栅栏对虾类的 50% 选择体长 (L_{50}) 逐渐增大, 但选择范围 (SR) 没有显著差异。

关键词: 刚性栅栏; 分隔性能; 多囊桁拖网; 哈氏仿对虾; 葛氏长臂虾

中图分类号: S 972.13 文献标识码: A

Separating performance for shrimps of sorting grid rigged in beam trawls

ZHANG Jian^{1,2}, SHI Jian-gao³, ZHANG Peng², SUN Man-chang¹, QIAN Wei-guo¹

1. Key Laboratory of Shanghai Education Commission for Oceanic Fisheries Resources Exploitation, Shanghai Ocean University, College of Marine Sciences, Shanghai 201306, China;
2. Key Laboratory of Marine Fishery Ecology and Environment, Ministry of Agriculture; Key Laboratory of Marine Fishery Ecology and Environment, Guangdong Province; Guangzhou 510300, China;
3. Key Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 201306, China)

Abstract: It is sorting grids that could separate catch retained in non-selective codends effectively in trawl fisheries. The separating performance of sorting grid with different bar spaces (15 mm, 20 mm and 25 mm) for spear littoral shrimp (*Parapenaeopsis hardwickii*) and Chinese ditch prawn (*Palaemon gravieri*) was analyzed based on the SELECT model. The results showed the separating ratio of catch weight of shrimps increased with the bar space. The probability contacting grid of shrimps could be indicated by a constant, which means the contact probability was independent of individual size. There was no significant difference of

收稿日期: 2008-01-09

基金项目: 国家科技支撑计划 (2006BAD09A05); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金 (20050264004); 上海市重点学科建设项目 (T1101)

作者简介: 张健 (1979 -), 上海市人, 男, 讲师, 主要从事渔具选择性方面的研究。E-mail: j-zhang@shou.edu.cn

通讯作者: 孙满昌, Tel: 021-61900308, E-mail: mcsun@shou.edu.cn

contact probabilities in different shrimps and grids with different bar spaces. The maximum likelihood estimates of contact probabilities were all larger than 0.9, which suggested majority, but not all of individuals would encounter the sorting grid, which could be attributed to the special construction of beam trawls and the rigging method of the sorting grid. The 50% retention lengths of different grids for shrimps would increase with the bar space, but the selection ranges were not different significantly.

Key words: sorting grid; separating performance; beam trawl with several codends; *Parapenaeopsis hardwickii*; *Palaemon gravieri*

从 Isaksen 等^[1]在巴伦支海使用刚性栅栏实现兼捕释放试验以后,刚性栅栏已成为改善拖网渔具种类选择性的主要装置之一,在世界各主要拖网渔业中对其种类选择性进行了广泛的研究。例如 Broadhurst 等^[2-3]比较了不同结构的刚性栅栏的兼捕释放效果;Riedel 和 DeAlteris^[4], Grimaldo^[5], Loaec 等^[6]比较了不同结构、不同材料的刚性栅栏的水动力性能及其对栅栏分隔性能的影响。

从 20 世纪 80 年代开始,捕虾桁拖网渔业在我国东海近海迅猛发展。持续增长的捕捞努力量使得虾类资源逐渐衰退,出现与鱼类和蟹类混捕等。传统的桁拖网渔具网囊网目过小,几乎捕获所有进入网具的捕捞对象,对渔获缺乏选择性,对渔业资源造成了严重的负面影响。通过前期的研究发现,仅依靠尺寸选择性难以实现选择性捕捞,必须开展种类选择性研究^[7];改善渔具的种类选择性,实现桁拖网渔具不同种类渔获分离还可改善目标渔获质量、减轻渔民渔获分拣等甲板劳动强度^[8-9]。孙满昌等在浙江嵊泗和江苏启东等地利用柔性分隔网片开展了分隔式桁拖网的种类选择性研究^[10-11],但未进行刚性栅栏装置试验。为比较不同分隔装置的渔获分隔性能、进一步优化分隔装置结构、提高分隔装置性能,在吕四渔场开展了不同栅栏间距刚性栅栏的渔获分隔性能研究。本文旨在利用参数化的分隔装置分隔效率模型分析刚性栅栏对主要虾类的分隔效率,为今后深入开展桁拖网及其它过滤性渔具种类选择性研究提供参考。

1 材料

1.1 作业时间、海域、试验渔船及渔具

海上生产试验共进行了 2 个航次。各航次作业时间、作业区域及海上生产试验的基本情况如表 1 所示;网次作业时间在 3.25 ~ 4.50 h 之间,平均约为 4 h。

表 1 海上试验基本情况

Tab. 1 Basic information of sea trials of size selectivity experiment

| | 试验航次 | | |
|---------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | 1 | 2 | |
| 作业时间 | 2006. 3. 17 - 2006. 03. 22 | 2006. 12. 23 - 2006. 12. 28 | |
| 作业区域 | 32°02' ~ 32°17'N | 32°32' ~ 32°52'N | |
| | 122°32' ~ 122°55'E | 122°32' ~ 122°56'E | |
| 水深 (m) | 26 ~ 32 | 25 ~ 34 | |
| 流速 (kn) | 1.4 ~ 1.7 | 2.1 ~ 2.4 | |
| 拖速 (kn) | 2.2 ~ 2.7 | 2.1 ~ 2.4 | |
| 渔船名 | 苏常渔 02121 | 苏启渔 1207 | |
| 作业渔船 | 排水量 (t) | 130.0 | 52.0 |
| | 主机功率 (kW) | 205 | 120 |
| | 规格 | 256.0 m × 15.5 m (32.0 m) | 172.8 m × 15.7 m (22.0 m) |
| 作业网具 | 装配网囊数 | 8 | 6 |
| | 网图 | 图 1(a) | 图 1(b) |

1.2 刚性栅栏的结构和安装

刚性栅栏的外框呈矩形,尺寸为 1.2 m×0.8 m,使用直径为 14 mm 的圆形无缝不锈钢钢管焊接而成;栅条使用直径为 4 mm 的不锈钢钢管,栅条焊接于外框,并使用硅胶包裹焊接处。栅栏的结构如图 2a 所示。

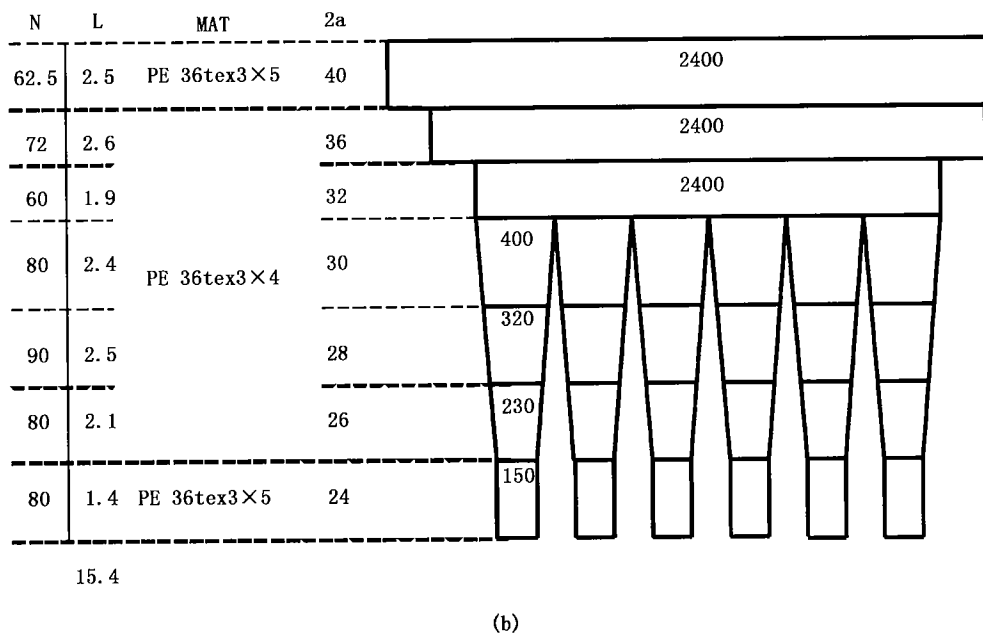
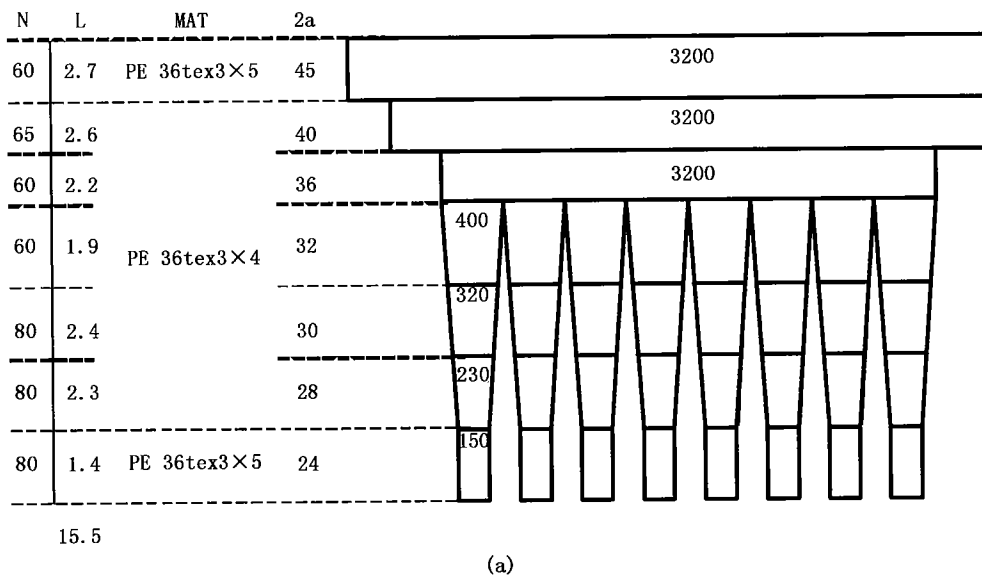


图 1 第 1(a)、2(b)航次试验网具网图

Fig. 1 Net drawing of the experimental beam trawl for the 1st trip (a) and 2nd trip (b)

采用了 15 mm、20 mm 和 25 mm 栅栏间距的刚性栅栏进行渔获分隔试验,不同的栅栏安装于不同网囊同时进行试验(安装位置:第 1 航次 2、4 和 6 号网囊;第 2 航次 2、4 和 5 号网囊)。刚性栅栏向下倾斜安装于网囊内:分隔栅栏的前端缝合于网囊第 3 网片后缘前 35◇背网网衣(周向约 90◇),缝合时网衣横向缩结系数约 0.3;分隔栅栏的后段两侧连接于网囊第 3 网片后缘腹网中心向两边各 1/5 处,栅栏后段连接密目网衣,将网囊取鱼部一分为二(形成虾囊和鱼囊),密目网片的后缘与原网囊一起组成 2 个

取鱼部。为尊重渔民意见,在取鱼部腹部网衣上安装加固网衣以防网衣破裂、并在虾囊和鱼囊的取鱼部前端(前端从密目网片开始)安装漏斗网(俗称“倒须”),防止进入取鱼部的个体倒退至网囊前部。栅栏的安装如图2b所示。

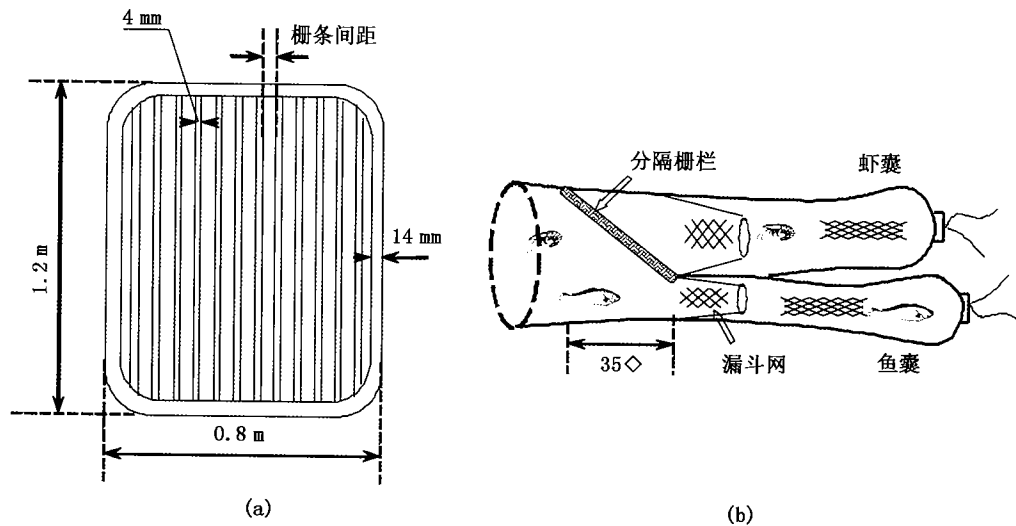


图2 刚性栅栏的结构(a)及安装(b)

Fig. 2 The construction (a) and rigging method (b) of sorting grids

2 方法

试验中,起网后对不同网囊渔获进行分类统计,按 1/8 的取样比例对虾类渔获进行取样,取样后,测定不同网囊中虾类的重量,并测量虾类个体全长(眼球至尾节末端的距离),按 5 mm 的间隔分组。在 2 个航次(11 个网次)的海上试验中,虾类除哈氏仿对虾(*Parapenaeopsis hardwickii*)和葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)作为主捕虾类在各航次均有较多渔获以外,其余虾类(脊尾白虾 *Exopalaemon carinicauda*,中华管鞭虾 *Solenocera crassicornis* 等)的取样渔获不足以进行模型拟合分析,因此本文仅分析刚性栅栏对哈氏仿对虾和葛氏长臂虾的分隔效率。

2.1 虾类重量分隔率

虾类重量分隔率 = 虾囊虾类重量 / 虾类渔获总重。

2.2 分隔性能

根据分隔网片的作业原理,结合 SELECT 模型,认为从鱼囊中取样的渔获尾数 c_{1i} 应服从二项分布^[12-13]

$$c_{1i} \sim \text{Bio}(c_i, \varphi_i) \quad (1)$$

其中: c_i —鱼囊和虾囊取样渔获总和, $c_i = c_{1i} + c_{2i}$, c_{2i} 为从虾囊中取样的渔获尾数; φ_i —刚性栅栏对渔获的分隔效率,且

$$\varphi_i = \frac{c_{1i}}{c_{1i} + c_{2i}} = \frac{q_{1i} \cdot (p_i \cdot S_i + 1 - p_i) \cdot R_{1i}}{q_{1i} \cdot (p_i \cdot S_i + 1 - p_i) \cdot R_{1i} + q_{2i} \cdot p_i \cdot (1 - S_i) \cdot R_{2i}} \quad (2)$$

其中: q_{1i}, q_{2i} —鱼囊和虾囊对体长为 l_i 的渔获取样比例; R_{1i}, R_{2i} —鱼囊和虾囊对体长为 l_i 的渔获个体的尺寸选择性。 S_i —栅栏的选择率; p_i —一个体接触栅栏的概率。

根据网具装配的实际情况,由于鱼囊和虾囊取鱼部使用了相同网目尺寸的网衣,因此 $R_{1i} = R_{2i}$;根据渔获的取样方法(不同网囊、不同大小个体的取样比例一致), $q_{1i} = q_{2i}$,分隔网片的分隔效率 φ_i 简化为 $\varphi_i = p_i \cdot S_i + 1 - p_i$ 。

根据不同的物理意义^[14-15],对 S_i 和 p_i 进行了不同假设,如表 2 所示:

表 2 刚性栅栏选择曲线和个体接触概率的不同假设

Tab2 Different hypothesis of selectivity curves of sorting grids and contact probability of fish individuals

| 假设 | 选择性曲线 S_i | 接触概率 p_i | 模型参数个数 |
|-------|-------------|-------------|--------|
| H_1 | Richards | Logistic | 5 |
| H_2 | Logistic | Logistic | 4 |
| H_3 | Richards | 常数 constant | 4 |
| H_4 | Logistic | 常数 constant | 3 |

Richards, Logistic 曲线形式及曲线参数等可参见参考文献[16]。使用极大似然估计法进行模型参数估算,并利用 AIC 理论进行模型选择^[17]。使用模型拟合的残差服从 χ^2 分布判断模型拟合优劣。在此基础上,利用 Fisher 信息矩阵及 delta 法估算模型参数、选择性参数(L_{50s}, SR_s) (若模型采用 H_1 或 H_2 , 还要估算接触概率参数 L_{50p}, SR_p 标准差)^[14, 18]。

海上试验分 2 个航次完成,考虑到航次间的差异,在对联合航次所获得的渔获数据进行模型拟合时,利用过渡离散的重叠估计(Replication estimation of overdispersion, REP)方法考虑阶段间差异对参数估计的影响^[19]。

3 结果

3.1 重量分隔率

不同间距栅栏对虾类的重量分隔率(=虾囊虾类重量/虾类渔获总重)如表 3 所示;从表 3 可以看出,随着刚性栅栏间距的增大,虾类的重量分隔率逐渐增大,各间距的栅栏对哈氏仿对虾和葛氏长臂虾的重量分隔率基本一致。

表 3 不同间距栅栏对虾类的重量分隔率

Tab.3 Separating ratios of catch weights for shrimps and fishes

| 栅栏间距/mm | 航次 | 哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i> | | | 葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i> | | |
|---------|----|--|------------|------------|--------------------------------|------------|------------|
| | | 鱼囊/kg | 虾囊/kg | 重量分隔率 | 鱼囊/kg | 虾囊/kg | 重量分隔率 |
| 15 | 1 | 0.96(0.07) | 4.16(0.49) | 0.81(0.01) | 0.49(0.13) | 1.69(0.36) | 0.77(0.06) |
| | 2 | 0.94(0.20) | 3.87(0.42) | 0.80(0.04) | 0.45(0.04) | 1.70(0.22) | 0.79(0.02) |
| 20 | 1 | 0.61(0.06) | 4.07(0.54) | 0.87(0.03) | 0.35(0.08) | 1.80(0.22) | 0.84(0.02) |
| | 2 | 0.59(0.08) | 3.65(0.49) | 0.86(0.03) | 0.31(0.04) | 1.77(0.34) | 0.85(0.04) |
| 25 | 1 | 0.50(0.07) | 4.82(0.68) | 0.90(0.02) | 0.17(0.03) | 1.81(0.32) | 0.91(0.02) |
| | 2 | 0.42(0.10) | 4.07(0.65) | 0.91(0.02) | 0.16(0.03) | 1.90(0.44) | 0.92(0.02) |

注:括号内表示标准差

3.2 虾类渔获的体长分布

虾囊和鱼囊中的哈氏仿对虾和葛氏长臂虾的渔获体长分布如图 3 所示。

3.3 模型选择

利用极大似然估计法和 $H_1 - H_4$ 模型对哈氏仿对虾和葛氏长臂虾的渔获体长分布进行拟合,不同模型拟合的 AIC 值如表 4 所示。

根据 AIC 理论,模型 AIC 值越小表明模型越合理。从表 4 可以看出, H_4 假设条件下,模型拟合的 AIC 值最小,因此将 H_4 作为分隔栅栏分隔效果分析模型,即使用 Logistic 曲线表示栅栏对个体的尺寸选择,而使用常数表示虾类个体基础分隔栅栏的概率,这一模型也表示虾类个体接触刚性栅栏的概率与个体大小无关。

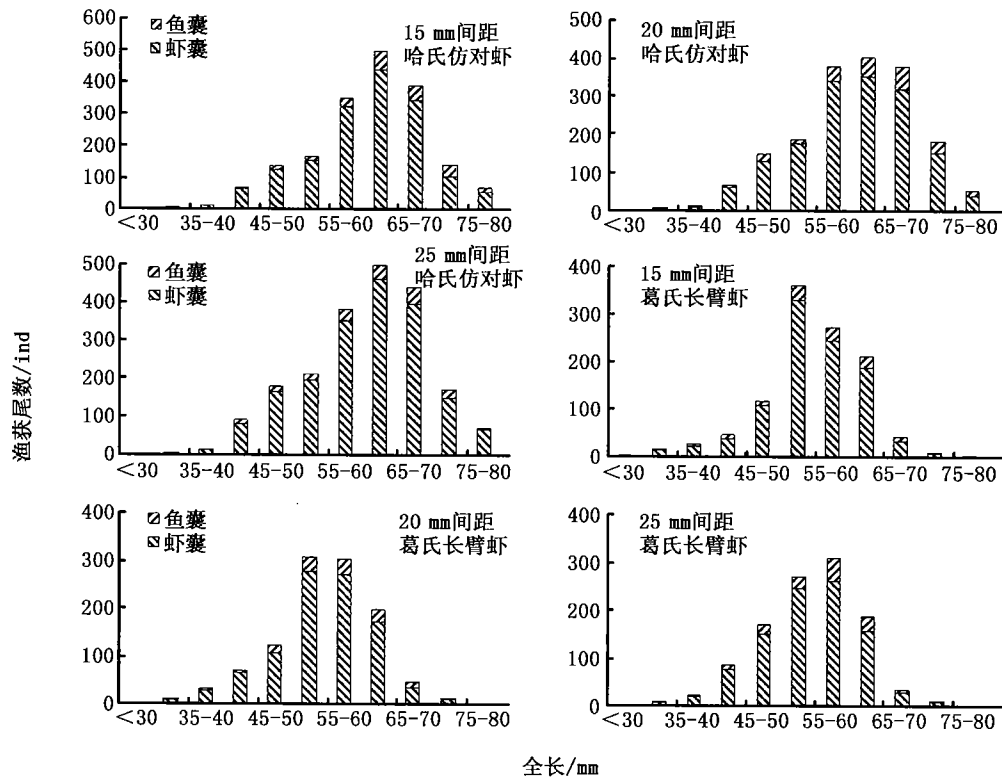


图 3 安装不同分隔栅栏的桁拖网鱼囊和虾囊的取样虾类渔获体长分布

Fig. 3 Size frequency of shrimps caught in different codends

表 4 不同模型的拟合 AIC 值

Tab. 4 AIC values of model fit in different hypotheses

| 渔获种类 | 栅栏间距/mm | 模型 | | | |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | H_1 | H_2 | H_3 | H_4 |
| 哈氏仿对虾 | 15 | 1 305.9 | 1 303.9 | 1 303.4 | 1 301.4 |
| <i>Parapenaeopsis hardwickii</i> | 20 | 1 386.3 | 1 384.4 | 1 385.4 | 1 383.3 |
| | 25 | 1 251.9 | 1 250.0 | 1 252.1 | 1 246.9 |
| 葛氏长臂虾 | 15 | 738.9 | 737.1 | 738.1 | 736.7 |
| <i>Palaemon gravieri</i> | 20 | 781.0 | 779.2 | 778.5 | 776.7 |
| | 25 | 863.7 | 861.9 | 863.0 | 861.3 |

3.4 分隔网片的分隔效率

H_4 假设条件下,模型参数的极大似然估计值及选择性参数估计值如表 5 所示。

从表 5 可以看出,分隔栅栏分隔效率模型在 H_4 假设条件下对渔获数据具有较好的拟合性 ($P > 0.05$);根据 REP 方法,发现 2 个航次间存在差异 ($P < 0.001$),因此模型参数、选择性参数及接触概率参数的标准差都乘以 \sqrt{REP} 了;模型参数、选择性参数的标准差较大,表明模型虽然具有较好的拟合性,但参数存在一定的不确定性。

对比不同间距的刚性栅栏的分隔效率发现(表 5),虾类接触不同刚性栅栏的概率(p)没有显著性差异 ($P > 0.05$),2 种不同虾类之间也没有显著差异 ($P > 0.05$);随着栅栏间距的增大,刚性栅栏对个体的逐渐增大,选择范围没有显著差异。

表 5 模型拟合、模型参数的估计值及选择性参数估计值

Tab. 5 Model fit and estimates of model parameters and selectivity parameters

| 渔获种类 栅栏间距/mm | | 哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i> | | | 葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i> | | |
|-----------------|-----------------------|--|--------------|---------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| | | 15 | 20 | 25 | 15 | 20 | 25 |
| Logistic 参数 | a | -11.18(4.91) | -10.02(4.30) | -12.21(13.56) | -12.11(8.27) | -8.71(8.10) | -6.44(7.30) |
| | b | 0.12(0.07) | 0.11(0.06) | 0.11(0.18) | 0.14(0.12) | 0.10(0.12) | 0.06(0.10) |
| 选择性参数 | $L_{50S} = -a/b$ | 72.30(1.72) | 90.43(8.58) | 106.94(52.03) | 86.43(17.36) | 90.18(26.32) | 100.11(46.85) |
| | $SR_S = 2\ln 3/b$ | 21.13(4.58) | 19.82(10.24) | 19.24(30.11) | 15.68(13.55) | 22.74(27.48) | 34.15(53.79) |
| 接触概率 | p | 0.923(0.09) | 0.918(0.10) | 0.918(0.07) | 0.913(0.08) | 0.924(0.18) | 0.919(0.31) |
| 模型拟合 | 模型残差 residuals | 8.511 | 4.424 | 7.332 | 2.827 | 4.245 | 4.207 |
| | 自由度 degree of freedom | 6 | 6 | 6 | 5 | 6 | 5 |
| 航次间差异 | P | 0.203 | 0.620 | 0.291 | 0.727 | 0.644 | 0.520 |
| | \sqrt{REP} | 1.413 | 1.326 | 1.664 | 1.394 | 1.406 | 1.611 |
| | P | 0.000 1 | 0.001 7 | <0.000 1 | 0.000 9 | 0.000 7 | <0.000 1 |

注:括号内表示标准差

4 讨论

影响刚性栅栏选择(分隔)性能的因素除栅栏间距以外,还包括栅栏的安装冲角、栅栏的形状等^[4-5]、鱼囊和虾囊的理论高度比以及合理的辅助装置等。试验证实栅栏对虾类的分隔性能随着间距的增大而增大(体现在重量分隔率和 L_{50} 上),但是栅条间距不能选择过大,因为栅条间距过大会导致鱼类等进入虾囊,进而影响到栅栏的分隔性能,因此本次试验采用的栅栏间距为 15~25 mm。从试验结果来看,这一间距范围对虾类具有较好的分隔性能。通常认为,栅栏的安装冲角越大,流经栅栏的水流速度也越大,因此个体随水流通过栅栏的概率也越高,体现在选择(分隔)性能上就是目标种类渔获损失较小,但兼捕种类(分隔种类)分隔效果较差;反之亦然^[5]。Isaksen 等认为,刚性栅栏的安装冲角在 $40^\circ \sim 48^\circ$ 为宜^[1]。对于此次刚性栅栏的分隔试验,没有比较不同安装冲角条件下的栅栏分隔性能,仅采用 40° 的理论安装冲角(受海上试验条件及分隔网囊的实际特点限制,未经实测)。但从试验效果来说,这一安装冲角的分隔栅栏对虾类具有较好的分隔率,从不同虾类对各栅栏的接触概率(表 5)也可以看出,无论是哈氏仿对虾还是葛氏长臂虾,其接触栅栏的概率都大于 0.9(不显著, t 检验, $P > 0.05$)。从国外的研究来看,大多数刚性栅栏系统(例如 Nordmore)中都会使用导向网片^[20](或漏斗)等辅助装置以改善装置性能^[2],而此次试验中采用的分隔栅栏结构相对简单,利用辅助装置进一步优化和改善栅栏设计将是今后开展此类研究的一个重要方面。

从分隔装置分隔效率评价模型(H_4 ,即 Tokai 等^[15]所描述的接触概率模型)来看,使用常数表示个体接触刚性栅栏的概率说明接触概率与个体尺寸无关;比较同一虾类接触不同间距刚性栅栏的概率发现不存在显著性差异($P > 0.05$,表明接触概率与栅栏间距无关);比较不同种类对相同间距的刚性栅栏的接触概率发现不存在显著性差异($P > 0.05$);这些都说明虾类个体在网囊中的行为反应是被动的。笔者使用假设检验理论对个体接触刚性栅栏的概率尝试进一步假设,假设所有个体都可能接触刚性栅栏(即接触概率, $p = 1$),模型拟合的结果表明这一假设不合理($P < 0.05$)。刚性栅栏的安装及后接的密目网片将原网囊取鱼部人为的分为鱼囊和虾囊 2 个部分,而且虾囊和鱼囊的开口设计理论高度比为 3:2,假设虾类在网囊中的随机分布,则虾类的重量分隔率应为 0.60;从试验结果来看,虾类的接触概率(都大于 0.90)明显高于这一比值;笔者认为产生这一现象的原因包括(1)虾类个体受底纲(刮纲)刺激以后垂直弹跳,因桁拖网身网较短,因此在网囊中,虾类个体普遍存在于上部;(2)虾囊因刚性栅栏支撑,开口较大且稳定,而鱼囊受虾囊影响,其开口很小,甚至闭合,阻止了个体进入鱼囊,试验中发现,刚性栅栏底部有触底磨擦迹象也证实了这一问题;当然作业过程中,网囊在作无规则的震荡^[21],因此,鱼囊的开口可能会间断性的张开,使得未进入虾囊的渔获个体进入鱼囊。

在模型建立过程中,假设不同网囊具有相同的相对作业强度,即进入网具的渔获个体进入各网囊的

概率相同;对于桁拖网渔具,各网囊的捕捞努力量必定相同,不同网囊的鱼囊和虾囊网目尺寸相同,且都安装漏斗网,因此不同网囊的相对作业强度可使用渔获重量(包括鱼囊和虾囊)来表示^[22]。对比不同网囊捕获的虾类渔获重量发现不同网囊之间没有显著性差异,这也说明相对作业强度的假设是合理的。当然,如果能在试验不同网次中交换试验网囊的安装位置将会得到更为可信的结果。

参考文献:

- [1] Isaksen B, Valdemarsen J W, Larsen R B, *et al.* Reduction of fish by-catch in shrimp trawl using a rigid separator grid in the aft belly [J]. *Fisheries Research*, 1992, 13(3): 335-352.
- [2] Broadhurst M K, Kennelly S J. Rigid and flexible separator panels in trawls that reduce the by-catch of small fish in the Clarence River prawn-trawl fishery, Australia[J]. *Marine and Freshwater Research*, 1996, 47(8): 991-998.
- [3] Broadhurst M K, Young D J, Damiano C. Effects of Nordmøre-grid angles, profiles and other industry-developed modifications on catches in an Australian penaeid-trawl fishery[J]. *Ciencias Marinas*, 2004, 30(1 B): 155-168.
- [4] Riedel R, DeAlteris J. Factors affecting hydrodynamic performance of the Nordmore Grate System: A bycatch reduction device used in the Gulf of Maine shrimp fishery[J]. *Fisheries Research*, 1995, 24(3): 181-198.
- [5] Grimaldo E. The effects of grid angle on a modified Nordmøre-grid in the Nordic Shrimp Fishery[J]. *Fisheries Research*, 2006, 77(1): 53-59.
- [6] Loaec H, Morandeu F, Meillat M, *et al.* Engineering development of flexible selectivity grids for Nephrops[J]. *Fisheries Research*, 2006, 79(1): 210-218.
- [7] 孙满昌, 王玉明. 捕虾桁拖网网囊网目的选择性研究[J]. *水产学报*, 1999, 23(2): 186-192.
- [8] Eayrs S, Buxton C, McDonald B. A guide to bycatch reduction in Australian prawn trawl fisheries[M]. Launceston: Australian Maritime College, 1997.
- [9] Brewer D, Rawlinson N, Eayrs S, *et al.* An assessment of Bycatch Reduction Devices in a tropical Australian prawn trawl fishery[J]. *Fisheries Research*, 1998, 36(2): 195-215.
- [10] 樊伟, 孙满昌. 桁拖网作业中鱼虾分隔效果的试验研究[J]. *海洋渔业*, 2000, 22(3): 106-109.
- [11] 孙满昌, 姚来富. 桁拖网作业中鱼虾分隔的初步试验研究[J]. *海洋渔业*, 1998, 20(3): 111-115.
- [12] Millar R B. Estimation the size-selectivity of fishing gear by conditioning on the total catch[J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1992, 87: 962-968.
- [13] 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.
- [14] Zuur G, Fryer R J, Ferro R S T, *et al.* Modelling the size selectivities of a trawl codend and an associated square mesh panel[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2001, 58(3): 657-671.
- [15] Tokai T, Omoto S, Sato R, *et al.* A method of determining selectivity curve of separator grid[J]. *Fisheries Research*, 1996, 27(1-3): 51-60.
- [16] 张健, 孙满昌, 钱卫国, 等. 张网渔具选择性模型的探讨[J]. *海洋渔业*, 2004, 24(2): 1-8.
- [17] 孙满昌, 张健, 许柳雄, 等. 渔具渔法选择性[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [18] Millar R B, Walsh S J. Analysis of trawl selectivity studies with an application to trouser trawls[J]. *Fisheries Research*, 1992, 13(3): 205-220.
- [19] Millar R B, Broadhurst M K, Macbeth W G. Modelling between-haul variability in the size selectivity of trawls[J]. *Fisheries Research*, 2004, 67(2): 171-181.
- [20] Broadhurst M K. Modifications to reduce bycatch in prawn trawls: A review and framework for development[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2000, 10(1): 27-60.
- [21] O'Neill F G, Kynoch R J. The effect of cover mesh size and cod-end catch size on cod-end selectivity[J]. *Fisheries Research*, 1996, 28(3): 291-303.
- [22] Xu X, 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.