

文章编号:1000-0615(2009)04-0697-07

## 分隔式桁拖网分隔装置的分隔效率模型

张 健<sup>1,2,3</sup>, 石建高<sup>4</sup>, 张 鹏<sup>3</sup>, 孙满昌<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306;

2. 上海海洋大学大洋生物资源开发和利用上海市高校重点实验室, 上海 201306;

3. 中国水产科学研究院南海水产研究所农业部渔业生态环境重点实验室, 广东 广州 510300;

4. 中国水产科学研究院东海水产研究所农业部海洋与河口渔业重点实验室, 上海 200090)

**摘要:**种类选择性研究是减轻拖网渔业兼捕和抛弃问题的重要方法,利用参数化的模型实现拖网渔具选择性装置渔获性能的解析,不仅有利于装置性能的评价和比较,而且对于优化选择性装置结构、提高装置性能具有重要的意义。根据 SELECT 模型原理,认为渔获对象接触分隔装置的概率与个体尺寸有关,并使用 S 型曲线(Logistic 曲线)表示接触概率曲线,结合分隔装置的选择曲线,为评价桁拖网分隔装置的分隔效率建立了模型。模型对分隔式桁拖网渔具(60 mm 分隔网片)捕获的哈氏仿对虾和短吻舌鳎的渔获数据进行拟合,结果表明,该模型能较好地分析分隔网片的分隔效率。通过对模型的分析,认为模型具有较好的应用性,且模型可根据实际情况进行适当简化;将捕捞对象的接触概率独立于选择性装置选择性能的做法,对于研究网具内捕捞对象行为特性具有一定的参考意义。

**关键词:**分隔装置;接触概率;选择曲线;分隔效率;Logistic 曲线;Select 模型

**中图分类号:**S 971.4

**文献标识码:**A

多囊桁拖网是我国近海渔业的一种重要作业方式,但该渔具囊网目普遍较小,选择性能差,对渔业资源造成了一定的破坏。桁拖网渔具对虾类和鱼类的尺寸选择性研究结果表明,仅通过改善尺寸选择性难以实现桁拖网渔具的选择性捕捞,应该开展种类选择性研究<sup>[1-2]</sup>。孙满昌等<sup>[3]</sup>、樊伟<sup>[4]</sup>在浙江嵊山和江苏吕四等地开展了分隔式桁拖网渔具的初步试验,取得了良好的分隔效果,通过渔获分隔不仅可提高渔获质量,而且对于实现不同渔获种类的选择性捕捞具有重要的意义。然而,在评价这些分隔装置的时候,缺乏必要的定量分析。从国外的研究来看,利用参数化的模型实现选择性装置渔获性能的解析,不仅有利于装置性能的评价和比较,而且对于优化选择性装置结构、提高装置性能具有重要的意义。例如,一些研究利用 Logistic 曲线<sup>[5-9]</sup>和 Richards 曲线<sup>[10-13]</sup>

来评价 Nordmøre 刚性栅栏系统和方形网目逃逸窗口等 BRD 的选择性能;Tokai 等<sup>[10,14]</sup>考虑渔获接触装置的概率,提出接触概率模型(encounter-probability model),该模型在刚性栅栏和方形网目窗口等 BRD 装置的性能分析中得到了运用<sup>[10-12,15]</sup>;Eigaard<sup>[16]</sup>在由刚性栅栏和方形网目窗口组合而成的 BRD 系统中,使用“有效选择性(effective selectivity)”来模拟装置的选择性能。

为进一步评价和改善分隔式桁拖网渔具的作业性能,在前期研究基础上,2005 年 10 月和 2006 年 9 月,笔者在吕四渔场开展多个航次的分隔式捕虾桁拖网生产试验。旨在建立评价分隔装置分隔效率的参数化模型,为下一步评价分隔式桁拖网渔具对主要渔获种类的渔获性能提供基础和保障,并为今后评价其它拖网渔具的选择性装置性能提供方法参考。

收稿日期:2007-12-06 修回日期:2008-01-11

资助项目:国家科技支撑计划(2006BAD09A05);上海市重点学科建设项目(S30702);上海海洋大学博士科研启动基金;农业部渔业生态环境重点实验开放基金(2007-3);教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20050264004)

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

# 1 材料与amp;方法

## 1.1 桁拖网分隔试验

2005年10月和2006年9月,笔者在江苏吕四渔场,租用“苏常渔02121”和“苏启渔1207”号2艘当地渔船开展了分隔式桁拖网的海上生产试验。试验中使用不同网目尺寸(60 mm、75 mm和90 mm)的分隔网片和不同栅栏间距(15 mm、20 mm和25 mm)的刚性栅栏作为分隔装置<sup>[17-18]</sup>。因本文仅讨论评价分隔装置的效率的模型,这里只选用60 mm网目尺寸的分隔网片作为分隔装置的研究对象。

## 1.2 模型建立

**模型原理** 分隔网片的结构示意如图1所示。假设进入网具的捕捞对象个体行为相互独立,体长为 $l_i$ 的个体接触分隔网片的概率为 $p_i$ ,并假设个体接触分隔网片和个体被分隔网片选择(被网片阻拦而保留下来)的事件相互独立,个体被分隔网片选择的概率为 $S_i$ ;若鱼囊和虾囊对个体的选择性分别为 $R_{1i}$ 和 $R_{2i}$ ,对鱼囊和虾囊的取样比例分别为 $q_{1i}$ 和 $q_{2i}$ ,根据SELECT模型<sup>[19]</sup>,从鱼囊中取样的渔获数量 $c_{1i}$ ,其应服从二项分布:

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

式中, $c_i$ 为被鱼囊和虾囊取样渔获总和, $c_i = c_{1i} + c_{2i}$ , $c_{2i}$ 表示从虾囊中取样的渔获数量; $\varphi_i$ 为一尾被取样个体,其来自于鱼囊的条件概率(这里将其定义为分隔效率):

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

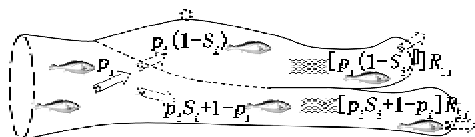


图1 分隔网片结构及分隔原理

Fig.1 Construction and separating principle of the separator panel

**模型实现** 显然,分隔网片选择渔获的概率 $S_i$ 可以使用拖网渔具网囊尺寸选择性曲线(这里为了保留模型的完整性,采用Richards曲线<sup>[20]</sup>)来表示,即

$$S_i = \left[ \frac{\exp(a + b \cdot l_i)}{1 + \exp(a + b \cdot l_i)} \right]^{\frac{1}{\delta}} \tag{3}$$

其中, $a, b, \delta$ 为曲线参数,选择性参数为

$$L_{50S} = -\frac{\text{Ln}(2\delta - 1) + a}{b}, SR_S = L_{75S} - L_{25S} = \frac{\delta \text{Ln}3 + \text{Ln}(4^\delta - 1) - \text{Ln}(4^\delta - 3^\delta)}{b} \tag{4}$$

对于接触概率,Tokai等<sup>[10]</sup>将个体接触选择性装置的概率假设为常数,然而,这一假设具有局限性,因为个体的行为能力与个体的尺寸是有关的,在相同的条件下,大个体捕捞对象接触分隔网片的概率较小个体大,也就是说接触分隔网片的概率 $p_i$ 应为体长 $l_i$ 的单调递增函数,Rudstam等<sup>[21]</sup>在刺网选择性研究中提出使用体长的幂函数来表示个体的接触网片的概率的观点,但为了模型的广泛性和适用性,因此,这里采用“S”型增长曲线—Logistic曲线来表示,即

$$p_i = \frac{\exp(\alpha + \beta \cdot l_i)}{1 + \exp(\alpha + \beta \cdot l_i)} \tag{5}$$

式中, $\alpha, \beta$ 为曲线参数。类似选择性曲线的表示方法,采用50%接触体长 $L_{50p}$ 和接触范围 $SR_p$ 来表示接触概率参数:

$$L_{50p} = \frac{-\alpha}{\beta}, SR_p = L_{75p} - L_{25p} = \frac{2 \text{Ln}3}{\beta} \tag{6}$$

假设鱼囊和虾囊的选择率 $R_{1i}, R_{2i}$ 已知,则模型参数 $\theta = (a, b, \delta, \alpha, \beta)^T$ 。使用极大似然估计法估算模型参数<sup>[22]</sup>,即对数似然函数 $l(\theta)$ 达到最大值时的参数值即为参数估计值:

$$l(\theta) = \text{Ln}L = \sum_{i=1}^I [c_{1i} \cdot \text{Ln}(\theta_i) + c_{2i} \cdot \text{Ln}(1 - \theta_i)] \tag{7}$$

在极大似然估计法中,可通过计算Fisher

信息矩阵 $I(\theta)$ 的逆阵获得模型参数估计值的方差并可根据Delta理论计算选择性参数的方差。

## 1.3 模型验证和简化

**模型验证** 若模型合理,则模型对渔获数据拟合的残差统计量 $D^2$ 应服从自由度为 $I - K$ 的 $\chi^2$ 分布<sup>[11, 23]</sup>(其中, $I$ 为渔获体长组数, $k$ 为模型参数个数),以此判断模型对渔获数据的拟合优劣程度。模型拟合偏差的具体计算方法见文献<sup>[23-24]</sup>。

### 模型简化

#### (1) 选择性曲线和接触概率模型简化

对于选用的分隔网片留存曲线 $S_i$ 和个体接

触分隔网片的概率曲线  $p_i$ , 可使用假设检验理论对其进行简化, 用  $H_0$  表示完整模型, 其它简化的模型分别如下

$H_1: \delta = 1$ , 即 Logistic 曲线同时表示选择曲线和接触概率曲线;

$H_2: \beta = 0$ , 即 Richards 曲线表示选择曲线, 而接触概率为常数;

如果模型可以简化为  $H_1$  或  $H_2$ , 则在此基础上进行再次简化,  $H_3: \delta = 1$  和  $\beta = 0$ , 即 Logistic 曲线表示选择曲线, 接触概率为一常数。

模型简化判断同样采用模型拟合的残差来实现: 若模型可简化, 则简化模型与完整模型的数据拟合残差之差服从自由度为模型参数个数差  $d$  的  $\chi^2$  分布<sup>[23]</sup>。采用赤池信息理论 (AIC) 比较不同模型优劣性<sup>[25]</sup>, 不同模型的 AIC 为

$$AIC = -2MLL + 2k$$

式中,  $MLL$  表示最大对数似然函数值;  $k$  表示模型参数的个数。

在合理的范围内, 若不同模型的 AIC 值之差  $\geq 1 \sim 2$  时可认为模型之间的差异非偶然, 且模型 AIC 值较小者较为优良<sup>[26]</sup>。

## (2) 试验特殊性对模型的简化

在试验过程中, 由于对鱼囊和虾囊的渔获取样比例是一致的 ( $q_{1i} = q_{2i}$ ), 同时, 鱼囊和虾囊是由相同的网衣所制成 (材料相同、网目尺寸相同), 因此可假设  $R_{1i} = R_{2i}$ , 最终分隔效率 (2) 就可简化为  $\varphi = p_i \cdot S_i + 1 - p_i$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 渔获数据

分隔网片的分隔试验共开展了 2 个航次 (10 个网次), 本研究仅采用 60 mm 分隔网片试验中哈氏仿对虾 (*Parapenaeposis hardwickii*)、短吻舌鳎 (*Cynoglossus abbreviatus*) 的渔获数据进行分析。累加各网次获得的渔获体长分布如图 2 所示。

### 2.2 模型拟合结果

利用建立的分隔效率模型 (包括简化模型)

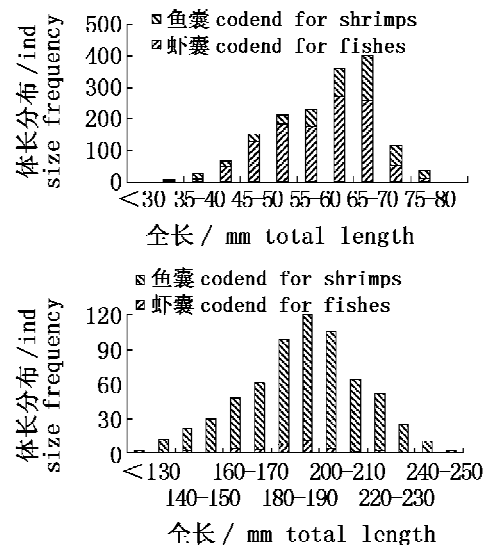


图 2 鱼囊/虾囊中的渔获体长分布  
上为哈氏仿对虾, 下为短吻舌鳎

Fig. 2 Size frequencies of catches caught by the different codends

Upper diagram for *Parapenaeposis hardwickii* and lower for *Cynoglossus abbreviatus*

对渔获数据进行拟合, 拟合及简化结果如表 1 所示。比较不同选择曲线和接触概率曲线模型的拟合结果发现, 模型  $H_0$  对渔获数据的拟合较好 (对于哈氏仿对虾和短吻舌鳎,  $p$  值分别为 0.232 和 0.521), 说明建立的模型对于分隔网片的效率评价是适用的。

模型的简化结果表明, 将 Richards 选择曲线简化为 Logistic 曲线是可行的 (对于哈氏仿对虾和短吻舌鳎,  $p$  值分别为 0.194 和 0.433); 但是, 选择曲线无论是 Richards 还是 Logistic 曲线, 都不能将接触概率曲线简化为常数进行模型拟合 ( $P < 0.05$ ), 各模型拟合的 AIC 值的比较也反应出这一点。

### 2.3 分隔网片对捕捞对象的分隔效率

在  $H_1$  模型下, 分隔网片对哈氏仿对虾和短吻舌鳎的选择曲线  $S_i$ 、接触概率曲线  $p_i$  以及分隔效率  $\varphi$  如图 3。

表1 效率模型对哈氏仿对虾和短吻舌鳎渔获数据的拟合和简化  
 Tab.1 Fitness and simplification of the model for the size frequency of *Parapenaeposis hardwickii* and *Cynoglossus abbreviatus*

	哈氏仿对虾 <i>Parapenaeposis hardwickii</i>				短吻舌鳎 <i>Cynoglossus abbreviatus</i>				
	$H_0$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_0$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	
模型参数 model parameters	$\hat{a}$	-26.49 (30.20)	-7.52 (0.91)	-6.64 (3.43)	-16.90 (2.50)	-11.30 (11.36)	-10.06 (14.49)	-17.38 (7.81)	-34.34 (12.00)
	$\hat{b}$	0.323 (0.361)	0.104 (0.014)	0.131 (0.027)	0.228 (0.035)	0.090 (0.036)	0.061 (0.062)	0.111 (0.04)	0.149 (0.061)
	$\hat{\delta}$	4.73 (5.72)	-	0.062 (0.13)	-	0.001 (0.011)	-	$4.39 \times 10^{-4}$ ( $2.55 \times 10^{-4}$ )	-
	$\hat{\alpha}$	-10.39 (2.35)	-9.26 (2.22)	1.299 (0.095)	1.341 (0.101)	-6.09 (3.22)	-12.48 (8.00)	-2.02 (0.13)	-2.01 (0.13)
	$\hat{\beta}$	0.269 (0.057)	0.239 (0.053)	-	-	0.020 (0.019)	0.064 (0.062)	-	-
	残差 residuals	5.589	7.274	44.474	46.336	5.177	5.791	26.049	25.256
模型拟合 model fit	自由度 df	4	5	5	6	6	7	7	8
	$p$	0.232	0.201	<0.0001	<0.0001	0.521	0.564	<0.0001	0.001
	AIC	1823.93	1823.62	1860.82	1860.68	269.56	268.15	297.22	294.63
	残差 residuals	-	1.685	38.885	40.747	-	0.614	20.872	20.079
模型简化 model simplification	自由度 df	-	1	1	2	-	1	1	2
	$p$	-	0.194	<0.0001	<0.0001	-	0.433	<0.0001	<0.0001

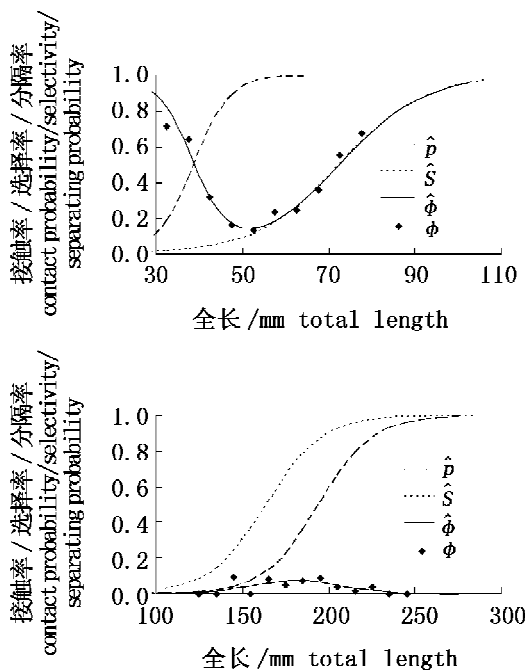


图3 分隔网片的选择曲线、接触概率曲线及分隔效率曲线

上为哈氏仿对虾,下为短吻舌鳎

Fig.3 Selectivity, encounter probability and separating efficiency curves of the separator panel

Upper diagram for *Parapenaeposis hardwickii* and lower for *Cynoglossus abbreviatus*

### 3 讨论

虽然在试验中,因鱼囊和虾囊使用了相同网目尺寸的网片,模型有所简化,但从模型的原理[即(2)式]可以看出,如果分隔网片可以实现较好的渔获分隔,那么只要在不同网囊上配以合适的网目尺寸,就可以实现对不同捕捞对象的选择性捕捞。Broadhurst<sup>[27]</sup>将虾拖网渔具中常用的BRD的作业原理分为2类,即根据不同捕捞对象的行为差异和个体差异实现选择性捕捞,但在很多情况下这一分类原则并不清晰;以分隔式桁拖网片为例,60 mm 分隔网片实现鱼/虾分隔不仅依靠2者之间的行为差异(哈氏仿对虾接触网片的概率明显高于短吻舌鳎),还与分隔网片对2者的选择性能有关。

考虑到模型的完整性和扩展性,完整模型  $H_0$  使用了 Richards 曲线和 Logistic 曲线分别表示了网片选择曲线和接触概率曲线,但是在实际中,完整模型可以也应该被简化。首先,根据假设,个体接触网片的事件与网片选择捕捞对象事件是相互独立的,如果将捕捞对象接触选择性装置的概率表示成个体尺寸的函数(笔者使用了 Logistic 曲

线),那么选择性装置的选择率则不涉及个体的行为差异,根据过滤性渔具网囊尺寸选择特性<sup>[20]</sup>,选用 Logistic 曲线是合理的,即模型可简化为,这一简化模型与 Eigaard 和 Holst<sup>[16]</sup>提出“有效选择”模型在形式上是一致的;60 mm 分隔网片对哈氏仿对虾和短吻舌鳎的试验结果也表明简化模型较更为合理。

Millar 在建立 SELECT 模型时提出,定义相对作业强度(relative fishing intensity)是捕捞对象个体尺寸的函数,但对于某种捕捞对象,可将相对作业强度视为常数,而将个体体长对其的影响放在选择性中考虑<sup>[19]</sup>,类似的,将个体接触网片的概率假设为常数时,则分隔网片的选择曲线选用 Richards 曲线(Logistic 曲线是 Richards 曲线的特殊形式)更为合理,因此可将完整模型  $H_0$  简化为  $H_2$ ,事实上,很多研究中所采用的接触概率模型就是简化模型  $H_2$ <sup>[11-14]</sup>;再次,如果不同捕捞对象接触网片的概率与个体大小无关,例如不同个体大小的捕捞对象具有一致的行为趋向性,或者使用某些手段使得个体接触网片的概率与个体大小无关,那么选择曲线又可简化为 Logistic 曲线,模型即可简化为  $H_3$ ;再进一步,如果选择性装置设置于捕捞对象进入网囊的“必经之路”上(例如在 Nordmøre 栅前安装导向漏斗网或网片,使进入网具的个体都接触栅栏),即捕捞对象必定接触装置,则可将接触概率假设为 1,而模型就被简化为一条选择性曲线(Richards 或 Logistic 曲线)<sup>[6,8-9]</sup>。

除了通过上述方法简化模型以外,还可以对选择曲线进行简化假设,以分隔网片为例,如果分隔网片的网目尺寸很大,那么其对特定体长范围捕捞对象的选择率受个体大小影响较小,那么就可以使用常数代替选择曲线来简化模型(即  $\alpha = 1, \delta = 1$ )。

研究鱼类行为的方法主要方法包括:利用水下观察设备进行水下观察、利用实验室水槽进行模拟实验、利用渔获比较间接探究鱼类行为的方法和数学模拟等方法<sup>[28]</sup>。但有关捕捞对象在网具中的行为反应的研究主要采用前面 2 种方法,但是无论水下观察还是实验室模拟,都具有成本高,局限性强等特点<sup>[29-30]</sup>。模型将捕捞对象的接触概率独立于选择性装置选择性能这一做法,对于评价网具内捕捞对象行为特性具有一定的参考

意义。例如,在本研究中,通过渔获数据的拟合发现,哈氏仿对虾的  $L_{50p}$ (50%接触体长)仅为 38.72 mm,  $SR_p$ (接触范围)仅 9.19 mm,这说明大多数进入网具的哈氏仿对虾都会接触到分隔网片,而相对而言,短吻舌鳎接触分隔网片的概率则较小。在一些特定的试验条件下,若能在试验前通过其它方法掌握分隔网片对捕捞对象的选择性能,则得到的捕捞对象的接触概率(所能掌握捕捞对象的行为)将更为精确,其对鱼类行为的描述也更为清晰。

#### 参考文献:

- [1] 张 健,孙满昌,钱卫国. 桁拖网不同网目结构网囊对主要鱼类的选择性研究[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(4):457-463.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Maartens L, Gamst K A, Schneider P M. Size selection and release of juvenile monkfish *Lophius vomerinus* using rigid sorting grids[J]. Fisheries Research, 2002, 57(1):75-88.
- [7] Graham N. By-catch reduction in the brown shrimp, *Crangon crangon*, fisheries using a rigid separation Nordmøre grid (grate)[J]. Fisheries Research, 2003, 59(3):393-407.
- [8] 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.
- [9] Graham N, Fryer R J. Separation of fish from *Nephrops norvegicus* into a two-tier cod-end using a selection grid[J]. Fisheries Research, 2006, 82(1-3):111-118.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Fonseca P, Campos A, Larsen R B, *et al.* Using a modified Nordmøre grid for by-catch reduction in the Portuguese crustacean-trawl fishery [J]. *Fisheries Research*, 2005, 71(2):223-239.
- [13] Fonseca P, Campos A, Mendes B, *et al.* Potential use of a Nordmøre grid for by-catch reduction in a Portuguese bottom-trawl multispecies fishery [J]. *Fisheries Research*, 2005, 73(1-2):49-66.
- [14] Tokai T. Trawls with separator-panel for by-catch reduction and evaluation methodology of their selective performance [C] // *Proceedings of symposium on marine fisheries beyond the year 2000 sustainable utilization of fisheries resources*, Taipei: National Taiwan Ocean University, 1998: 1-7.
- [15] O'Neill F G, Kynoch R J, Fryer R J. Square mesh panels in North Sea demersal trawls: Separate estimates of panel and cod-end selectivity [J]. *Fisheries Research*, 2006, 78(2-3):333-341.
- [16] Eigaard O R, Holst R. The effective selectivity of a composite gear for industrial fishing: A sorting grid in combination with a square mesh window [J]. *Fisheries Research*, 2004, 68(1-3):99-112.
- [17] 张健, 孙满昌, 彭永章, 等. 桁拖网渔具分隔网片对虾类的分隔效率[J]. *中国水产科学*, 2008, 15(5):845-852.
- [18] 张健, 孙满昌, 彭永彰, 等. 桁拖网渔具刚性栅栏对虾类的分隔性能[J]. *上海水产大学学报*, 2008, 17(6):726-733.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Rudstam L G, Magnuson J J, Tonn W M. Size selectivity of passive fishing gear: a correction for encounter probability applied to gill nets [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1984, 41:1252-1255.
- [22] Fryer R J. A model of between-haul variation in selectivity[J]. *ICES J Mar Sci*, 1991, 48(1):281-290.
- [23] 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.
- [24] Wileman D A, Ferro R S T, Fonteyne R, *et al.* *Manual of methods of measuring the selectivity of towed fishing gears* [R]. Copenhagen: ICES, 1996: 215.
- [25] Omoto S, Tokai T, Tanda M, *et al.* Comparison of selectivity curve between square-mesh and diamond-mesh codends by AIC [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi (Japanese Edition)*, 1998, 64(3):447-452.
- [26] 葛长宇. 极大似然估计法及 SELECT 模型在渔具选择性解析中应用的研究 [D]. 青岛: 青岛海洋大学, 2001.
- [27] 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.
- [28] 何大仁, 蔡厚才. *鱼类行为学* [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1998.
- [29] 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.
- [30] McCullagh P, Nelder J A. *Generalized linear models*, 2nd ed. [M]. London: Chapman & Hall, 1989.

## Model for separating efficiency assessment of separator devices rigged in multi-level beam trawls

ZHANG Jian<sup>1,2,3</sup>, SHI Jian-gao<sup>4</sup>, ZHANG Peng<sup>3</sup>, SUN Man-chang<sup>1,2</sup>

(1. *The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;*

2. *The Key Laboratory of Oceanic Fisheries Resources Exploitation of Shanghai Education Commission, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;*

3. *Key Laboratory of Marine Fishery Ecology and Environment, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;*

4. *Key Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)*

**Abstract:** Research on species selection is one of important potential measure to alleviate the by-catch and discard problem of trawl fisheries. More and more research showed that parametric models, which have been widely used in analysis of selective devices of trawls, were not only important to assess and compare the performance but indicative to improve the construction of the selective devices. In this paper, a model for assessing the separating efficiency of separator devices rigged in multi-level beam trawl fishing offshore of the East China Sea, in which the size selection of separator panel was taken into account and encounter probability (presented by ogive, Logistic curve) of individual entering trawl was regarded as dependent upon the individual size and then presented by ogive (Logistic curve), was developed based on the principle of Select model. Fitness of model for size frequency of *Parapenaeposis hardwickii* and *Cynoglossus abbreviatus* caught by multi-level beam trawl rigging separator panel with 60 mm mesh size and the maximum likelihood estimates of parameters showed the model was applicable to assess the separating efficiency of panel. According to the discussion, the model could be applied to the other selective devices and simplified by hypothesis test method according to different situation. Additionally, we think the encounter probability of individual, which was independent of size selection of selective device, could be used to analyse the responding behavior of aquatic animal.

**Key words:** separator devices; encounter probability; selectivity curve; separating efficiency; Logistic curve; Select model