

桁拖网渔具刚性栅栏对鱼类的分隔效率研究*

张 健^{1,2} 张 鹏² 孙满昌^{1①} 彭永章³

(1. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室 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 广州 510300; 3. 江苏省启东市海洋与渔业局 启东 226200)

提要 东海捕虾桁拖网选择性能不佳,对渔业资源的保护和渔业的合理管理带来了负面的影响。刚性栅栏是实现拖网渔具种类选择性捕捞的主要装置,本文根据在吕四渔场开展刚性栅栏海上生产试验,结合 SELECT 模型分析不同栅条间距(15、20 和 25mm)的刚性栅栏对短吻舌鳎、小黄鱼和棘头梅童鱼的分隔效率。结果表明,随着栅条间距的增大,栅栏对鱼类的重量分隔率逐渐减小,分隔栅栏对鱼类的 50%选择体长(L_{50S})逐渐增大;对于短吻舌鳎,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,接触概率在 0.2—0.4 之间,并随着栅条间距的增大而增大(不显著, $P>0.05$);对于小黄鱼和棘头梅童鱼,所有进入网囊的个体都将接触刚性栅栏;不同鱼类接触栅栏概率的显著差异说明不同鱼类在网囊中的不同行为习性。

关键词 分隔栅栏,分隔效率,多囊桁拖网,短吻舌鳎,小黄鱼,棘头梅童鱼

中图分类号 S972.13

从 20 世纪 80 年代开始,捕虾桁拖网渔业在东海近海迅猛发展。持续增长的捕捞努力量使得虾类渔业资源逐渐衰退,渔业开始混捕鱼类和蟹类等(宋海棠等, 2006)。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,对渔业资源的保护和渔业的合理管理带来了严重的负面影响。为改善桁拖网渔具渔获性能,研究人员多次开展了桁拖网网囊尺寸选择性研究(孙满昌等, 1999, 2002; 张健等, 2008a),发现仅依靠尺寸选择性难以实现桁拖网渔具选择性捕捞,必须开展种类选择性研究;随后利用柔性分隔网片开展了分隔式桁拖网初步研究(樊伟等, 2000; 孙满昌等, 1998)。刚性栅栏相比柔性栅栏具有更好的分隔效果,是改善拖网渔具种类选择性的重要装置,在世界各主要拖网渔业中都有研究,并在许多虾拖网渔业中被强制使用(Broadhurst, 2000; 孙满昌等, 2004; 张健等, 2008b),但国内有关刚性栅栏的

研究较少。为实现捕虾桁拖网渔具的分隔式捕捞,笔者在江苏吕四渔场开展了不同间距栅栏的渔获分隔试验。本文旨在分析刚性栅栏对鱼类的分隔效率,为合理优化选择性装置结构、提高刚性栅栏性能奠定基础。

1 材料与方法

1.1 作业时间、海域、试验渔船及渔具

共完成了 2 个航次的海上生产试验:第 1 航次试验时间为 2006 年 3 月 17—22 日,共完成 5 个有效网次的试验;作业渔场位置为 32°02′—32°17′N、122°32′—122°55′E;试验渔船为“苏常渔 02121”号,该船全长 33.0m,型宽 6.4m,排水量 130t,主机功率 205kW;试验网具如图 1 所示,网具配备桁杆长度为 32.0m,拉直长度为 15.5m,装配 8 个网囊。第 2 航次试验时间为 2006 年 12 月 23—28 日,共完成 6 个有效网次的试

* 国家科技支撑计划项目, 2006BAD09A05 号;教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目, 20050264004 号;上海市重点学科建设项目, S30702 号;农业部渔业生态环境重点开放实验室和广东省渔业生态环境重点实验室开放基金项目, 2007-3 号;上海海洋大学博士科研启动基金, B-8202-08-0289 号, 2009.01—2010.12。张 健, 博士, 讲师, E-mail: j-zhang@shou.edu.cn

① 通讯作者: 孙满昌, 教授, E-mail: mcsun@shou.edu.cn

收稿日期: 2008-03-19, 收修改稿日期: 2008-05-28

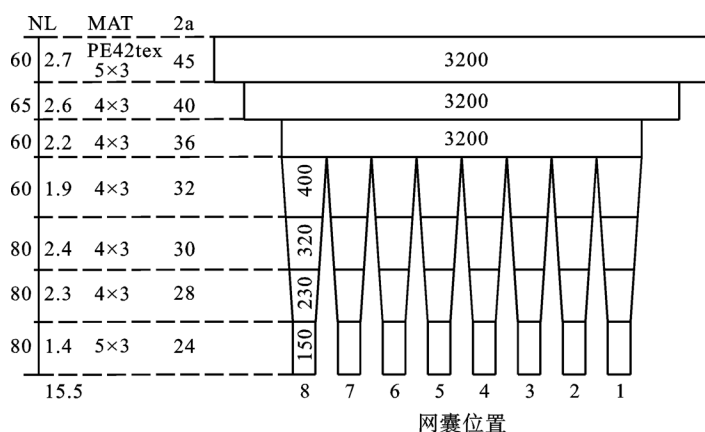


图 1 试验网具网图

Fig.1 Sketch of the experimental beam trawl

NL: 表示网片纵向上的高度, 其中左边的 60、80 等表示纵向的目数, 右边的 2.7、2.6 等表示纵向上的拉紧长度, 15.5 表示网片纵向拉紧总长度(单位为 m); MAT: 表示材料, PE42tex 表示网线材料为 PE(聚乙烯), 42tex 表示网线的线密度, 5×3 等表示网线的股数; 2a: 表示网目的大小, 单位为 mm

验; 作业渔场位置为 $32^{\circ}32' - 32^{\circ}52'N$ 、 $122^{\circ}32' - 122^{\circ}56'E$; 试验渔船为启东市渔船“苏启渔 1207”号, 该船排水量为 52t、主机功率 120kW; 试验网具结构与第 1 航次基本相同, 配备桁杆长度为 22.0m, 拉直长度为 15.4m, 装配 6 个网囊。网次作业时间在 3.25—4.50h 之间; 拖速 2.1—2.9kn; 海底为泥沙质。

1.2 刚性栅栏的结构和安装

鱼类和虾类对拖网渔具的反应行为截然不同:通常被驱赶聚集至网口处的鱼类会随网具游动,并慢慢进入拖网内部,而虾类在遇到网具的外部刺激以

后,会发生弹跳,弹跳高度可达数米,随后利用游泳足在水中游动,因游泳能力较弱随水流进入拖网直至网囊(Broadhurst, 2000; Watson, 1989)。根据鱼和虾的行为差异,将刚性栅栏倾斜向下安置于网囊头部分,将网囊分为上下2层,上层用以捕获穿越分隔栅栏的虾类、下层用以捕获被分隔栅栏“选择”下来的鱼类,以此实现鱼虾分隔。

刚性栅栏的外框呈矩形, 尺寸为 1.2m×0.8m, 使用直径为 14mm 的圆形无缝不锈钢管焊接而成; 栅条使用直径为 4mm 的不锈钢管, 结构如图 2a 所示。采用 15mm、20mm 和 25mm 间距的刚性栅栏进行渔获分隔试验, 不同的栅栏被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)。刚性栅栏被向下倾斜安装于网囊头部分: 分隔栅栏的前端缝合于网囊以前 35° 的背网网衣 (周向约 90°), 缝合时网衣横向缩结系数取 0.3; 栅栏后端两侧连接于网囊前缘的腹网中心向两边各 1/5 处, 栅栏后端连接密目网衣, 将网囊一分为二, 形成虾囊和鱼囊。为尊重渔民意见, 在网囊腹部网衣上安装加固网衣以防网衣破裂、并在虾囊和鱼囊的前端安装漏斗网 (俗称“倒须”)。栅栏的安装如图 2b 所示。

起网后,对鱼囊和虾囊中的渔获分别进行分类,并对主要渔获种类进行称重,随后对鱼类渔获按 1/2 的取样比例取样;测量鱼类个体体长,按 1cm 的间隔

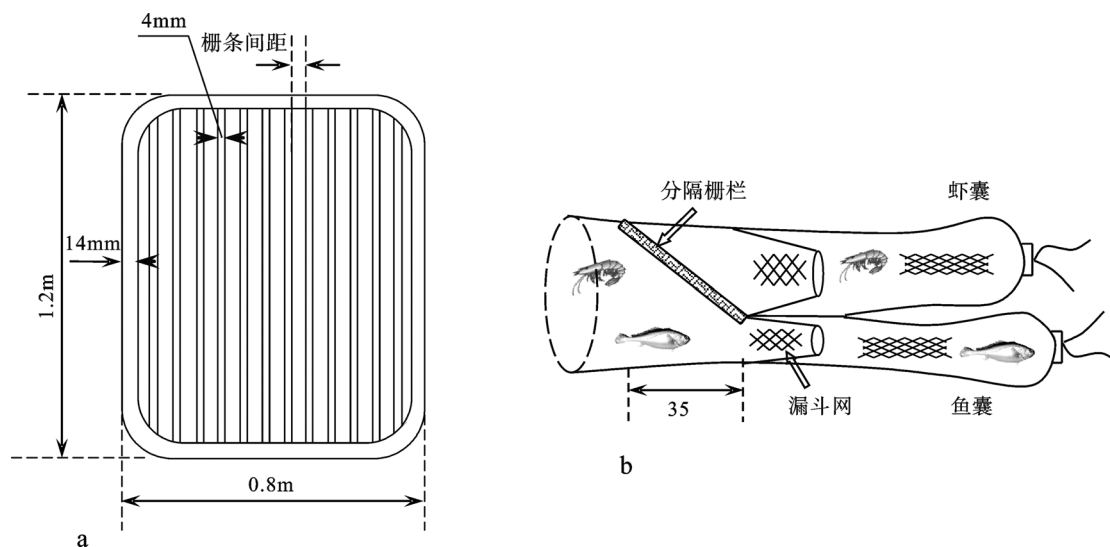


图2 刚性栅栏的结构及网囊安装

Fig.2 The installation of sorting grids and rigging method of experimental codends

a. 栅栏结构; b. 网囊安装, 35 表示分隔栅栏的安装在纵向上的距离为 35 目网目

分组, 获得渔获体长分布。

1.3 分隔效率分析方法

1.3.1 鱼类重量分隔率 鱼类重量分隔率 = 鱼囊
鱼类重量 / (鱼囊 + 虾囊) 鱼类渔获总重。

1.3.2 分隔装置的分隔性能 根据 SELECT 模型,
可认为从鱼囊中取样的渔获个体数量 c_{1i} 应服从二项
分布(Millar, 1992; Millar *et al*, 1999) :

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

其中, c_i 表示被鱼囊和虾囊取样渔获总和, $c_i = c_{1i} + c_{2i}$,
 c_{2i} 为虾囊中取样的渔获个体数量; ϕ_i 表示刚性栅栏对
渔获个体的分隔效率, 且

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

其中, q_{1i} 、 q_{2i} 表示对鱼囊和虾囊渔获的取样比例; R_{1i} 、
 R_{2i} 表示鱼囊和虾囊对渔获的尺寸选择性; S_i 为栅栏对
个体的选择率; p_i 为个体接触栅栏的概率。根据渔具
装配情况, 鱼囊和虾囊取鱼部使用了相同网目尺寸
的网衣, 因此 $R_{1i} = R_{2i}$; 渔获的取样方法一致(包括不
同网囊和不同尺寸的渔获), 即 $q_{1i} = q_{2i}$, 因此公式 ϕ_i
可简化为:

$$\phi_i = p_i \cdot S_i + 1 - p_i \quad (3)$$

根据刚性栅栏的分隔原理, 对其选择性 S_i 和个
体接触概率 p_i 进行不同假设, 见表 1。

Richards、Logistic 曲线形式及曲线参数等可参见
参考文献(张健等, 2004)。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(孙满
昌等, 2004)。根据模型拟合的残差服从是否 χ^2 分布判
断模型拟合优劣程度。同时, 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)等标准
差(Millar *et al*, 1992; Zuur *et al*, 2001)。利用过渡离散
的重复估计方法(REP)考虑航次间差异对参数估计的
影响(Millar *et al*, 2004)。

表 1 刚性栅栏选择曲线和个体接触概率的不同假设
Tab.1 Different preconditions of selectivity curves of sorting
grids and contact probability of fish individuals

假设	S_i	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
H_5	Richards	1	3

2 结果

2.1 鱼类取样渔获

海上试验中, 鱼类渔获以短吻舌鲷(*Cynoglossus abbreviatus*)(第 1 航次渔获个体数量少, 未测量)、小
黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)和棘头梅童鱼
(*Collichthys lucida*)为主; 其它鱼类较少, 取样后的渔
获数量不足以完成模型分析, 因此本文中仅对小黄
鱼、棘头梅童鱼和短吻舌鲷进行分析。在数据处理过
程中, 将小黄鱼和棘头梅童鱼作为同一种类进行分
析, 依据是这些种类体型和行为习性相近, 且渔获累
加可增加渔获数量、拓宽体长范围, 这有助于降低模
型拟合的不确定性、减小模型参数估计值的标准差。

2.1.1 重量分隔率 不同栅栏间距的栅栏对鱼类
的重量分隔率如表 2 所示。从表 2 可以看出, 栅栏对
短吻舌鲷分隔率高于小黄鱼和棘头梅童鱼; 随着栅栏
间距逐渐增大, 鱼囊中鱼类渔获重量比例逐渐下降。

2.1.2 鱼类渔获体长分布 虾囊和鱼囊中的短吻舌
鲷、小黄鱼和棘头梅童鱼的渔获体长分布如图 3 所示。

2.2 刚性栅栏分隔效率分析

2.2.1 模型选择 利用分隔效率模型(公式 3)对短
吻舌鲷、小黄鱼和棘头梅童鱼取样渔获体长分布进
行拟合, 不同假设条件下模型拟合的 AIC 值如表 3
所示。

从表 3 可以发现, 对于短吻舌鲷, H_4 假设条件下
模型拟合的 AIC 最小, 因此选用 Logistic 曲线表示刚

表 2 不同间距栅栏对虾类的重量分隔率
Tab.2 Separating ratios on catch weights

栅栏间距 (mm)	短吻舌鲷			小黄鱼和棘头梅童鱼		
	鱼囊(kg)	虾囊(kg)	重量分隔率	鱼囊(kg)	虾囊(kg)	重量分隔率
15	3.71(0.51)	0.18(0.02)	0.95(0.01)	2.13(0.78)	0.41(0.13)	0.83(0.03)
20	3.55(0.66)	0.35(0.07)	0.91(0.02)	2.09(0.66)	0.58(0.13)	0.78(0.04)
25	3.54(0.55)	0.49(0.06)	0.88(0.01)	1.83(0.70)	0.77(0.22)	0.69(0.06)

注: 括号内数值表示标准差

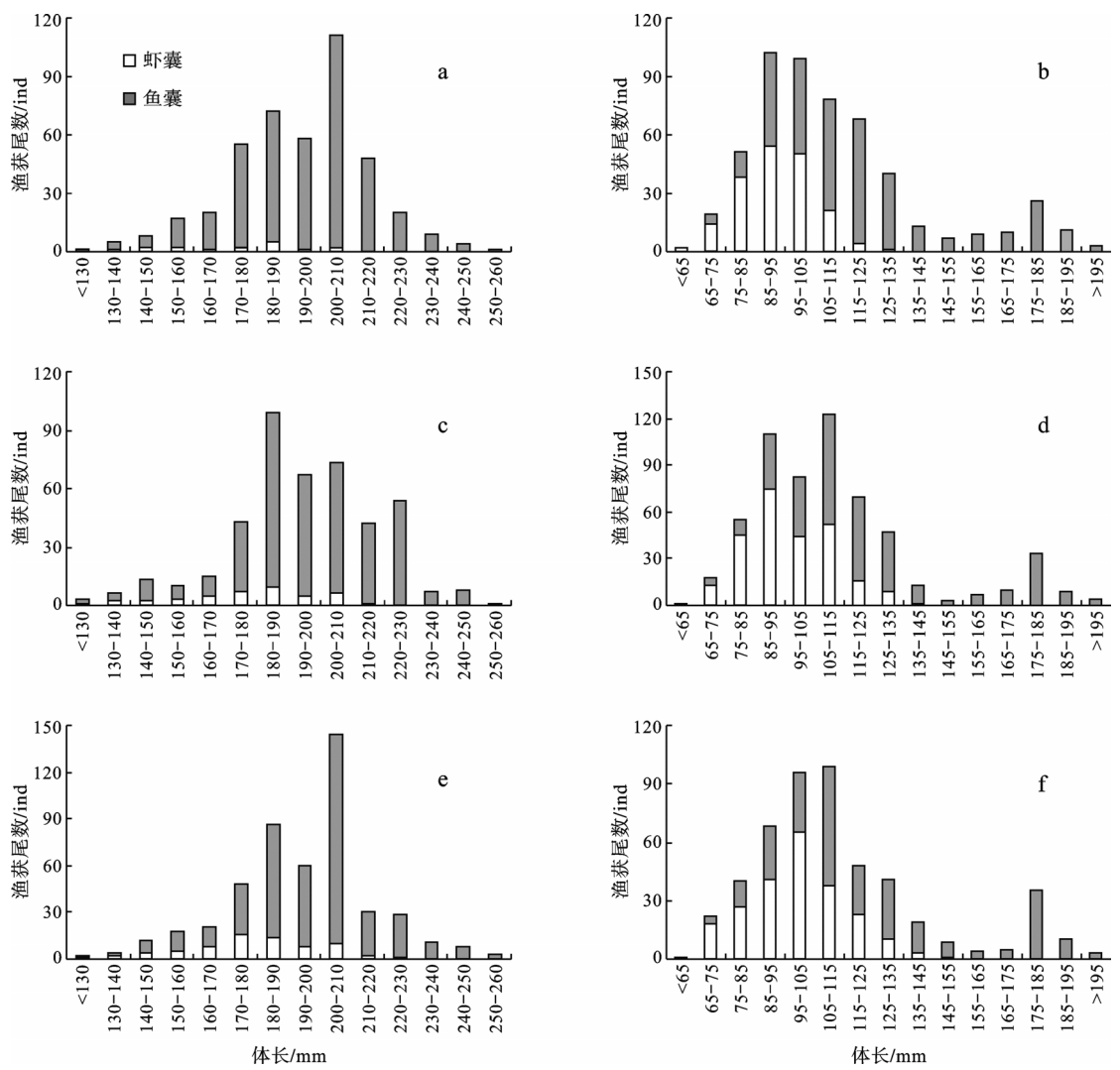


图 3 安装不同分隔栅栏的桁拖网鱼囊和虾囊的取样鱼类渔获体长分布

Fig.3 The size frequency of fishes caught in different codends

a. 15mm 间距分隔栅栏, 短吻舌鲷; b. 15mm 间距分隔栅栏, 小黄鱼和棘头梅童鱼; c. 20mm 间距分隔栅栏, 短吻舌鲷; d. 20mm 间距分隔栅栏, 小黄鱼和棘头梅童鱼; e. 25mm 间距分隔栅栏, 短吻舌鲷; f. 25mm 间距分隔栅栏, 小黄鱼和棘头梅童鱼

表 3 不同模型的拟合 AIC 值
Tab.3 AICs of model fit in different preconditions

渔获种类	栅栏间距 (mm)	假设				
		H_1	H_2	H_3	H_4	H_5
短吻舌鲷	15	132.6	130.7	130.7	128.7	—
	20	255.7	253.8	253.7	251.7	—
	25	367.0	365.3	365.0	363.4	367.9
小黄鱼和棘头梅童鱼	15	504.0	501.5	502.1	502.6	500.1
	20	634.5	632.5	632.5	630.5	630.6
	25	585.8	570.8	570.9	570.6	569.0

注：“—”表示模型拟合无法获得合理的估计值

性栅栏对短吻舌鲷的选择性曲线, 而使用常数表示个体接触刚性栅栏的概率; 对于小黄鱼和棘头梅童鱼, H_5 假设条件下模型拟合的 AIC 最小, 因此选用

Richards 曲线表示刚性栅栏对短吻舌鲷的选择性曲线, 而假设所有进入网囊的个体都将接触刚性栅栏 (即 $p = 1$), 这也意味着栅栏对个体的选择性即为栅栏

的分隔效率。

2.2.2 分隔网片的分隔效率 在选定假设条件下, 模型参数估计值及选择性参数估计值如表 4 所示。从表 4 可以看出, 对于不同渔获种类, 分隔效率模型在选定假设条件下(短吻舌鲷为 H_4 、小黄鱼和棘头梅童鱼为 H_5 假设)对渔获数据都具有较好的拟合性 ($P>>0.05$)。

对比不同间距栅栏的分隔效率发现, 随着栅条间距增大, 栅栏对个体的分隔效果逐渐减小。对于短吻舌鲷, 其个体接触刚性栅栏的概率随着栅条间距的增大而增大($P>0.05$); 对于小黄鱼和棘头梅童鱼, 引起刚性栅栏分隔效率变化的主要原因是栅栏对个体的选择率的变化。对于短吻舌鲷, 随着栅条间距的增大, L_{50} 逐渐增大, 而 SR 却有所减小; 而对于小黄鱼和棘头梅童鱼, L_{50} 和 SR 都随栅条间距增大而增大。

3 讨论

3.1 刚性栅栏的结构特点

在以渔获分离为目的的选择性研究中, 很多利用刚性栅栏将网囊分为多个部分, 例如在北海海螯虾(*Nephrops norvegicus*)渔业中, 使用向上倾斜的刚性栅栏将个体较大的鱼类引导至上层网囊, 而个体较小的虾类则穿越栅栏进入下层网囊(Graham *et al.*, 2006); 本研究中采用了向下倾斜安装的刚性栅栏, 主要是考虑到桁拖网渔业作业渔场海底杂质多, 而且渔获较多的舌鲷等鱼类具有贴底的习性。国外的相关研究结果显示, 结构复杂的选择性装置通常性能较好, 但会影响海上操作甚至威胁渔民的安全, 因此提倡使用结构简单的装置(Broadhurst, 2000)。本次海上生产试验中所使用的分隔装置结构较为简单, 仅

利用一向下倾斜的刚性栅栏实现渔获分隔, 从试验结果来看, 该栅栏对鱼类具有较好的分隔性能, 特别是对个体较大的渔获。

虽然在刚性栅栏的设计及安装中, 将网囊分为上、下两个部分用以捕获不同种类的渔获个体, 但在实际作业过程中, 虾囊的入口因刚性栅栏支撑而张开, 而鱼囊的入口则可能会闭合。起网后发现, 栅栏底部有一定的触底磨擦迹象, 且试验结果显示具有贴地习性的短吻舌鲷接触分隔栅栏的概率在 0.2—0.4 之间, 这些都表明处于下部的鱼囊开口部并没有完全张开。鱼囊入口的闭合降低了虾类渔获进入鱼囊的概率, 同时也增加了鱼类个体接触分隔栅栏的概率, 说明这一作业特性可提高栅栏对虾类的分隔效率, 但降低了对鱼类的分隔效率。当然鱼囊入口的闭合并不意味着其阻止鱼类进入鱼囊, 对于拖网渔具, 其网囊在作业过程中因水流等原因会作无规则的震荡(O'Neill *et al.*, 1996), 使得鱼囊入口会发生间歇性张开, 根据鱼类在网具内的行为反应(Wardle, 1993; Watson, 1989), 处于分隔栅栏前的鱼类会通过视觉发现这鱼囊入口, 进而顺利进入鱼囊。

3.2 不同鱼类在网具中的行为反应

对比不同间距的刚性栅栏对不同鱼类的渔获重量分隔率(表 2)发现, 分隔栅栏对短吻舌鲷的分隔率要明显地高于小黄鱼和棘头梅童鱼, 这主要体现在不同种类接触分隔栅栏的概率上, 从表 4 可以看出, 利用 H_4 假设估算得到的短吻舌鲷接触栅栏概率在 0.2—0.4 之间, 而 H_5 假设表示所有进入网囊的小黄鱼和棘头梅童鱼都将接触到分隔栅栏。通过比较不同网具的渔获间接探究鱼类行为是鱼类行为学的一种重要方法(何大仁等, 1998), 虽然试验中未能进行实地

表 4 模型拟合、模型参数的估计值(及标准误)及选择性参数估计值(及标准误)

Tab.4 The modelled parameters and standard errors (in bracket)

渔获种类 栅栏间距(mm)		短吻舌鲷			小黄鱼和棘头梅童鱼		
		15	20	25	15	20	25
模型参数	a	−8.87(7.22)	−11.611(4.868)	−12.540(4.237)	−27.124(14.77)	−11.110(6.153)	−19.649(21.64)
	b	0.057(0.031)	0.065(0.023)	0.069(0.020)	0.227(0.117)	0.090(0.042)	0.135(0.139)
	δ	1	1	1	7.449(4.879)	2.676(2.125)	7.205(9.085)
	p	0.238(0.72)	0.297(0.258)	0.422(0.218)	1	1	1
选择性参数	L_{50S}	156.42(44.25)	178.75(14.25)	182.89(9.39)	96.80(2.32)	104.22(2.54)	108.99(3.98)
	SR_S	38.75(21.33)	33.83(11.94)	32.04(9.12)	36.61(6.85)	39.11(6.50)	59.84(15.06)
模型拟合	残差	3.305	5.056	3.661	4.654	3.719	12.016
	自由度 $d.f.$	7	8	8	12	11	11
	P	0.855	0.752	0.886	0.969	0.977	0.362

观察来描述不同种类在进入网囊以后的行为,但是从接触概率的拟合结果可以看出,这2种鱼类的行为习性存在着明显的差别。

影响刚性栅栏分隔效率的主要因素除了栅条的间距、栅栏的安装冲角、栅条横截面形状以外,还包括栅栏的面积系数(栅栏实际投影面积与栅栏外框架尺寸虚构面积之比)(Grimaldo, 2006; Riedel *et al.*, 1995), Grimaldo(2006)认为,栅栏的面积系数越小(栅条间距越大)则过流流速越大,进入网具的个体随水流穿越栅栏的概率也越大。从试验结果(表4)可以看出,短吻舌鳎接触分隔栅栏的概率不存在体长间差异,但随着栅栏刚性间距的增大,接触概率也逐渐增大,这说明进入网具的舌鳎个体能对不同流速具有一定的反应能力。相比而言,小黄鱼和棘头梅童鱼接触刚性栅栏的概率既不存在体长差异,也不存在栅栏间差异,说明个体的在网具内的行为能力相对较弱。

3.3 刚性栅栏分隔效率分析模型

从模型的拟合结果来看,对于短吻舌鳎采用了 H_4 假设,这一假设即为接触概率模型(Tokai, 1998; Tokai *et al.*, 1996),其已在很多选择性装置的性能分析中得到了运用(Fonseca *et al.*, 2005; Zuur *et al.*, 2001);而对于小黄鱼和棘头梅童鱼,采用栅栏的选择性曲线(H_5 假设)代表其分隔效率,这一模型同样也适用于许多特定的选择性装置(Isaksen *et al.*, 1992; Maartens *et al.*, 2002)。Broadhurst(2000)根据实现选择性捕捞原理不同,将选择性装置分为2类,即根据不同种类行为习性差异和根据不同种类个体尺寸差异而设计开发的装置;然而,在多种类渔业中,这一分类原则并不清晰,可能带有一定的主观性。以本文的研究对象刚性栅栏为例,试验结果表明所有的小黄鱼和棘头梅童鱼都接触栅栏,与虾类的接触概率基本无异,因此实现渔获分隔主要依靠栅栏对个体的尺寸选择性,可以将其视为第二类选择性装置;然而对于短吻舌鳎,其帖底习性使得接触栅栏概率明显小于虾类,实现渔获分隔主要依靠不同种类行为差异,因此又可将其视为第一类选择性装置。笔者认为,在进行渔具种类选择性研究中,人为区分选择性装置的种类可能并不合适,需要使用相应的定量分析。

参 考 文 献

- 孙满昌, 王玉明, 1999. 捕虾桁拖网网囊网目的选择性研究. 水产学报, 23(2): 186—192
- 孙满昌, 张 健, 樊 伟, 2002. 吕四渔场虾桁拖网最小网目尺寸的研究. 海洋渔业, 24(3): 120—124
- 孙满昌, 张 健, 许柳雄等, 2004. 渔具渔法选择性. 北京: 中国农业出版社, 93—94, 194—198
- 孙满昌, 姚来富, 1998. 桁拖网作业中鱼虾分隔的初步试验研究. 海洋渔业, 20(3): 111—115
- 何大仁, 蔡厚才, 1998. 鱼类行为学. 厦门: 厦门大学出版社, 6—7
- 宋海棠, 俞存根, 薛利建等, 2006. 东海经济虾蟹类. 北京: 海洋出版社, 8—10
- 张 健, 孙满昌, 2008a. 桁拖网不同网目结构网囊对虾类的尺寸选择性研究. 中国水产科学, 15(4): 667—676
- 张 健, 孙满昌, 2008b. 欧洲地区选择性桁拖网渔具研究进展. 大连水产学院学报, 23(1): 55—62
- 张 健, 孙满昌, 钱卫国等, 2004. 张网渔具选择性模型的探讨. 海洋渔业, 24(2): 1—8
- 樊 伟, 孙满昌, 2000. 桁拖网作业中鱼虾分隔效果的试验研究. 海洋渔业, 22(3): 106—109
- Broadhurst M K, 2000. Modifications to reduce by-catch in prawn trawls: A review and framework for development. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 10(1): 27—60
- Fonseca P, Campos A, Mendes B *et al.*, 2005. Potential use of a Nordmore grid for by-catch reduction in a Portuguese bottom-trawl multispecies fishery. Fisheries Research, 73(1—2): 49—66
- Graham N, Fryer R J, 2006. Separation of fish from *Nephrops norvegicus* into a two-tier cod-end using a selection grid. Fisheries Research, 82(1—3): 111—118
- Grimaldo E, 2006. The effects of grid angle on a modified Nordmore-grid in the Nordic Shrimp Fishery. Fisheries Research, 77(1): 53—59
- Isaksen B, Valdemarsen J W, Larsen R B *et al.*, 1992. Reduction of fish by-catch in shrimp trawl using a rigid separator grid in the aft belly. Fisheries research, 13(3): 335—352
- Maartens L, Gamst K A, Schneider P M, 2002. Size selection and release of juvenile monkfish *Lophius vomerinus* using rigid sorting grids. Fisheries Research, 57(1): 75—88
- Millar R B, 1992. Estimation the size-selectivity of fishing gear by conditioning on the total catch. Journal of the American Statistical Association, 87: 962—968
- Millar R B, Broadhurst M K, Macbeth W G, 2004. Modelling between-haul variability in the size selectivity of trawls. Fisheries Research, 67(2): 171—181
- Millar R B, Fryer R J, 1999. Estimating the size-selection curves of towed gears, traps, nets and hooks. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 9(1): 89—116
- Millar R B, Walsh S J, 1992. Analysis of trawl selectivity studies with an application to trouser trawls. Fisheries Research, 13(3): 205—220
- O'Neill F G, Kynoch R J, 1996. The effect of cover mesh size and cod-end catch size on cod-end selectivity. Fisheries Research, 28(3): 291—303
- Riedel R, DeAlteris J, 1995. Factors affecting hydrodynamic

- performance of the Nordmore Grate System: A bycatch reduction device used in the Gulf of Maine shrimp fishery. *Fisheries Research*, 24(3): 181—198
- Tokai T, 1998. Trawls with separator-panel for by-catch reduction and evaluation methodology of their selective performance proceedings of symposium on marine fisheries beyond the year 2000 sustainable utilization of fisheries resources. National Taiwan Ocean University, Taiwan, 1—7
- Tokai T, Omoto S, Sato R *et al*, 1996. A method of determining selectivity curve of separator grid. *Fisheries Research*, 27(1—3): 51—60
- Wardle C S, 1993. Fish Behavior and Fishing Gears. In: Pitcher T J ed. *The Behaviour of Teleost Fishes*. London: Chapman & Hall, 609—643
- Watson J W, 1989. Fish Behaviour and Trawl Design: Potential for Selective Trawl Development. In: Campbell C M ed. *Proceedings of World Symposium on Fishing Gear and Fishing Vessels*, ST. John's, Newfoundland, Canada: Marine Institute, 25—29
- Zuur G, Fryer R J, Ferro R S T *et al*, 2001. Modeling the size selectivities of a trawl codend and an associated square mesh panel. *ICES Journal of Marine Science*, 58(3): 657—671

FISH SEPARATING EFFICIENCY OF SORTING GRID RIGGED IN BEAM TRAWLS

ZHANG Jian^{1,2}, ZHANG Peng², SUN Man-Chang¹, PENG Yong-Zhang³

(1. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Key Laboratory of Shanghai Education Commission for Oceanic Fisheries Resources Exploitation, Shanghai Ocean University, College of Marine Sciences, Shanghai, 201306; 2. Key Laboratory of Marine Fishery Ecology and Environment, Ministry of Agriculture; Key Laboratory of Marine Fishery Ecology and Environment, Guangdong Province, Guangzhou, 510300; 3. Ocean and Fishery Bureau of Qidong City, Jiangsu Province, Qidong, 226200)

Abstract Poor selection of the beam trawl fishing in the East China Sea has exerted negative influences on conservation of fish resources and management of fisheries. To solve the issue, sorting grid was developed to separate catch effectively by species retained in non-selective codends in trawl fisheries. In this paper, the separating efficiency of sorting grid of different bar spacings (15, 20, and 25mm) for three-lined tongue sole *Cynoglossus abbreviatus*, little yellow croaker *Pseudosciaena polyactis*, and spinyhead croaker *Collichthys lucida* was analyzed in sea trials carried out in Lvsì Fishing Ground in the SELECT model. The results show that the separating ratio of catch weight of fishes decreases with the increase in bar spacing. The 50% retention length of different grids increases with the bar spacing. For three-lined tongue sole, the probability of contacting grid of shrimps is indicated by a parameter, which means the contact probability is independent of individual size. The maximum likelihood estimates of contact probability for sorting grids of different bar spacings are between 0.2 and 0.4 and increase insignificantly ($P>0.05$) with the bar spacings. For little yellow croaker and spinyhead croaker, all individuals entering codends would encounter the sorting grids. The difference in contact probability for different fishes indicates distinct swimming behavior patterns in trawl.

Key words Sorting grid, Separating efficiency, Beam trawl with several codends, *Cynoglossus abbreviatus*, *Pseudosciaena polyactis*, *Collichthys lucida*