

桁拖网渔具分隔网片对虾类的分隔效率

张健¹, 孙满昌¹, 彭永章², 叶旭昌¹, 钱卫国¹

(1. 上海市高校大洋生物资源开发和利用重点实验室, 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 200090; 2. 江苏省启东市海洋与渔业局, 江苏 启东 226200)

摘要: 利用分隔网片将桁拖网渔具网囊分为上下2层(虾囊和鱼囊)以实现虾类和鱼类渔获分离, 对于改善桁拖网渔具作业性能、提高目标种类渔获质量以及实现选择性捕捞具有重要的意义。为分析不同网目尺寸(60 mm、75 mm和90 mm)分隔网片对主要渔获种类的分隔效率, 在吕泗渔场开展了2个航次的海上生产实验。利用分隔装置性能分析模型, 对哈氏仿对虾(*Parapenaeopsis hardwickii*)和葛氏长臂虾(*Palaemon gravier*)的渔获数据进行拟合。结果表明, 不同虾类接触分隔网片的概率没有显著性差异; 虾类个体50%接触概率体长约为40 mm, 表明大多数进入网具的虾类都能接触分隔网片。随着分隔网片网目尺寸增大, 50%选择体长也逐渐增大。因此, 分隔网片的分隔效率随之提高。鱼囊和虾囊的网目尺寸相同, 但结构有所差异。比较在不同网囊尺寸选择性假设条件下渔获数据的拟合结果后发现, 鱼囊和虾囊具有相同选择性的假设更为合理; 通过比较发现, 分隔网片对虾类的尺寸选择性与相同网目尺寸的网囊选择性具有较大的差异。本研究还对产生这一差异的原因进行了探讨。[中国水产科学, 2008, 15(5): 845–852]

关键词: 桁拖网; 分隔网片; 分隔效率; 哈氏仿对虾; 葛氏长臂虾

中图分类号: S972.13

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2008)05-0845-08

从20世纪70年代末开始, 桁拖网渔业在中国东海近海逐渐发展起来, 并一度成为江浙沿海主要作业方式之一。在发展过程中, 桁拖网渔业的捕捞对象由主捕虾类逐渐变为混捕虾类、鱼类。利用分隔装置实现桁拖网不同种类渔获的分离, 对于改善渔具的作业性能、提高目标种类渔获质量、减轻渔民甲板的劳动强度以及实现不同种类渔获的选择性捕捞具有重要的现实意义。

按材质分类, 选择性装置(或兼捕减少装置, BRD)可分为2类: 柔性和刚性装置^[1-2]。柔性装置(多数为网片形式)相比刚性装置具有结构简单、对网具结构影响较小、取材方便等优点, 在很多拖网渔业中被采用。例如, 20世纪70、80年代, 挪威在北方长额虾(*Pandalus borealis*)渔业中使用垂直分隔网片和HH型分隔网片实现鱼类兼捕的释放^[3]。同一时期, 在美国东南沿海对虾拖网渔业中出现了V型垂直分隔网片设计^[4-5]。英国于20世纪80年代在海螯虾(*Nephrops norvegicus*)拖网渔业中, 利用水平分隔网片设计的分层拖网有效实

现了渔获分离^[6]。20世纪90年代, 澳大利亚研究人员在对虾拖网渔业中, 利用柔性分隔网片设计的Morrison软TED有效减少了大个体的兼捕^[7-8]。近年来, 欧洲又开始了拖网分隔装置研究^[9-10]。

为实现桁拖网渔具的渔获分离, 樊伟等^[11]和孙满昌等^[12]利用分隔网片开展了分隔式桁拖网渔具初步研究, 取得了良好的实验效果, 但研究中对分隔网片实现渔获分离的原理和机制缺乏定量分析。为进一步分析分隔式桁拖网渔具的分隔效率, 笔者于2005和2006年在吕泗渔场开展了不同网目尺寸分隔网片的海上生产实验。本研究利用参数化模型分析此次海上实验中分隔网片对虾类的分隔效率, 为今后深入开展桁拖网渔具选择性捕捞研究、实现渔业可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 作业时间、海域、实验渔船及渔具

海上生产实验共进行了2个航次(每个航次有5个有效网次, 共计10个网次)。第1航次时间

收稿日期: 2007-12-21; 修订日期: 2008-04-13.

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

作者简介: 张健(1979-), 男, 讲师, 主要从事渔具选择性的研究. E-mail: j-zhang@shou.edu.cn

通讯作者: 孙满昌. Tel: 021-65711814; E-mail: mcsun@shou.edu.cn

为2005年10月29日至11月5日,作业渔场位置为 $32^{\circ}15'N\sim 32^{\circ}39'N$ 、 $121^{\circ}38'E\sim 122^{\circ}30'E$ 。实验渔船为“苏常渔02121”号,该船全长33.0 m,型宽6.4 m,排水量130 t,主机功率205 kW。实验网具如图1-a所示,网具配备桁杆长度为32.0 m,拉直长度为16.0 m,装配8个网囊。

第2航次时间为2006年9月1日至9月7

日,作业渔场位置为 $32^{\circ}42'N\sim 33^{\circ}02'N$ 、 $122^{\circ}12'E\sim 122^{\circ}31'E$ 。实验渔船为启东市渔船“苏启渔1207”号,该船排水量为52 t,主机功率120 kW。实验网具如图1 b所示,网具配备桁杆长度为22.0 m,拉直长度为15.9 m,装配6个网囊。网次作业时间在3.25~4.50 h之间,拖速2.1~2.9 kn,海底为泥沙质。

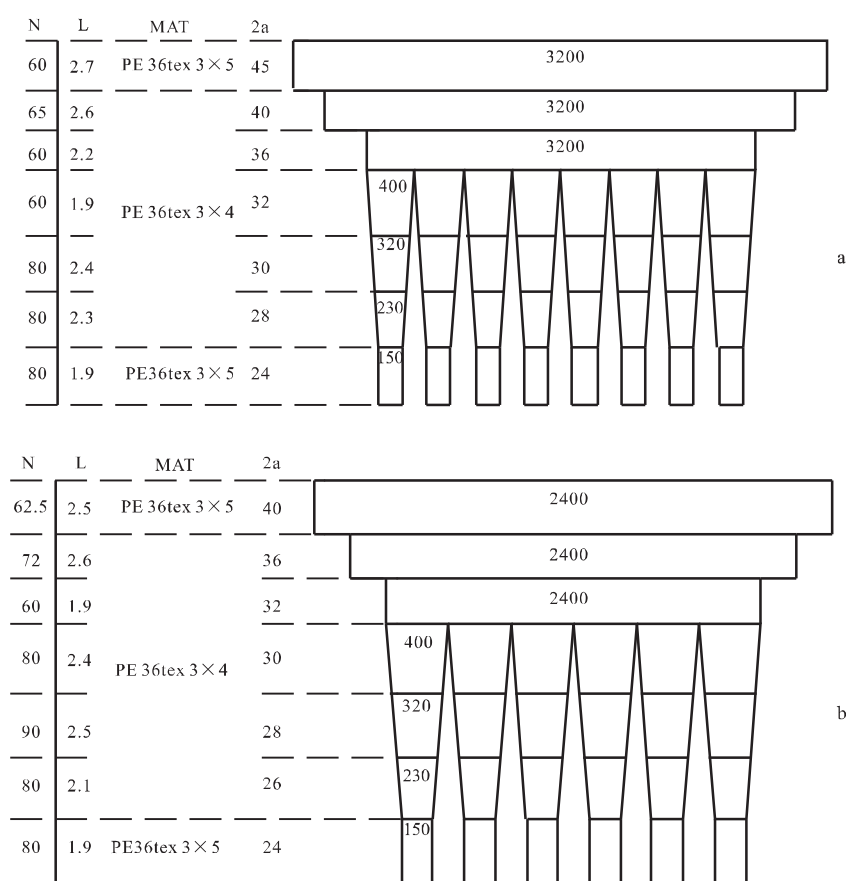


图1 实验网具网图(a为第1航次实验网,b为第2航次实验网)

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

1.2 分隔网片的设计和安装

选用3种网目尺寸(菱形网目60 mm、75 mm和90 mm,网线材料为PE3×5)梯形网衣作为分隔网片。经剪裁加固后,梯形分隔网片的宽边缝合于网身与网囊头连接处的背网上,背网网片的横向缩结系数取0.25,分隔网片的横向缩结系数取0.50。分隔网片窄边的两端固定在网囊头与网囊缝合处,并以高度比3:2将网囊头后缘分为上下2个部分,分隔网片窄边连接矩形密目网片。分隔网片的侧

边则均匀地绕缝于两侧网衣上。由于分隔网片缩结系数较背网网衣大,因此在一定的水流作用下,背网向上鼓起,形成一个较大的空间,而分隔网片和密目网片将网囊头和网囊分为上下2层(上层为虾囊、下层为鱼囊)。分隔网片的安装及作业原理如图2所示。为节省实验成本、降低实验系统误差,在单一网次中进行不同网目尺寸分隔网片的实验,不同分隔网片的规格及安装位置如表1所示。实验网囊材料与原网囊一致,网目尺寸为24.62 mm(标准

偏差为 0.52)。为尊重渔民的意见,在网囊的腹网上安装加固网衣以防网衣破裂,并在虾囊和鱼囊的前

端(前端从密目网片开始)安装漏斗网(俗称“倒须”),阻止进入网囊的个体逃出网囊。

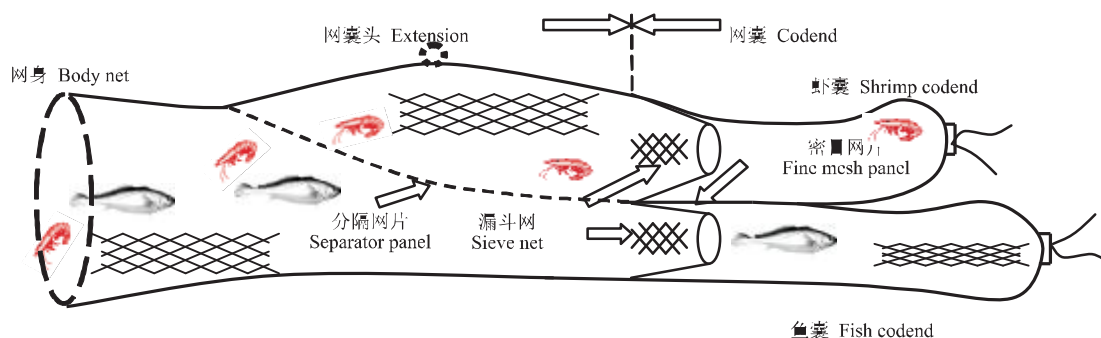


图2 分隔网片作业原理

Fig.2 Separating principle of separator panels

表1 分隔网片规格

Tab.1 Specification of the separator panel

航次 Sea trial	安装位置 Position of panel	网目尺寸 Mesh size			网片规格 / ◇ Dimension of panel		
		名义值 /mm Nominal	实测均值 /mm Actual	标准差 SD	前端 Front end	后段 Back end	纵向 Lengthways
1	2	60	62.34	1.20	64	21	122
	4	75	76.81	1.51	51	17	98
	6	90	93.42	0.99	43	14	82
2	2	60	62.34	1.20	60	18	131
	3	75	76.81	1.51	48	15	105
	5	90	93.42	0.99	40	12	88

1.3 分隔效率分析方法

根据 SELECT 模型^[13],结合实验取样对模型的影响^[14],认为从鱼囊中取样的渔获个体数量应服从二项分布

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

其中: c_i 为从鱼囊和虾囊中取样的总渔获尾数; $c_i = c_{1i} + c_{2i}$, c_{1i} , c_{2i} 分别为从鱼囊和虾囊中取样的渔获个体数; ϕ_i 为分隔网片对渔获个体的分隔效率,且

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

其中: q_{li} , q_{2i} 鱼囊和虾囊分别对体长为 l_i 的渔获个体取样比例; R_{li} , R_{2i} 鱼囊和虾囊分别对体长为 l_i 的渔获个体的尺寸选择性; S_i 分隔网片对体

长为 l_i 的个体的选择性,且

$$S_i = \frac{\exp(a + b \cdot l_i)}{1 + \exp(a + b \cdot l_i)} \quad (3)$$

体长为 l_i 的渔获个体接触分隔网片的概率 p_i 可表示为

$$p_i = \frac{\exp(\alpha + \beta \cdot l_i)}{1 + \exp(\alpha + \beta \cdot l_i)} \quad (4)$$

其中: $\theta = (a, b, \alpha, \beta)^T$ 为模型参数。

选择性参数 $L_{50S} = -\frac{a}{b}$, $SR_S = \frac{2 \ln 3}{b}$ 和接触概率参数 $L_{50p} = -\frac{\alpha}{\beta}$, $SR_p = \frac{2 \ln 3}{\beta}$ 表征分隔网片的选择性曲线和个体的接触概率曲线。

使用极大似然估计法估算模型参数^[15]。在此基础上,利用 Fisher 信息矩阵及 delta 法估算模型参数、选择性参数和接触概率参数的标准差^[16]。根

据模型拟合的残差是否服从 χ^2 分布判断模型拟合优劣性^[16-17]。

海上实验分 2 个航次完成行,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,利用过渡离散的重复估计 (Replication estimation of overdispersion, REP) 方法来考虑阶段间差异对参数估计的影响^[2, 16, 18]。

2 结果与分析

2.1 主要虾类渔获的体长分布

在 2 个航次的海上实验中,共完成了 10 个有效网次的实验。每一网次起网后,首先对鱼囊和虾囊的渔获分别进行分类,并对主要渔获种类进行称重。然后以 1/8 的取样比例对主要虾类渔获进行随

机取样,测量取样渔获的个体全长(眼球至尾节末端的距离),并按间隔 5 mm 分组,形成体长组分布。

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,其余虾类如脊尾白虾 (*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,因此本研究仅分析分隔网片对哈氏仿对虾和葛氏长臂虾的分隔效率。

安装不同网目尺寸分隔网片的桁拖网鱼囊和虾囊中虾类质量及虾囊渔获比重(虾囊捕获虾类质量/虾类渔获总质量)如表 2 所示。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。

表 2 鱼囊和虾囊中虾类渔获质量及虾囊渔获比重
Tab.2 Shrimp catch weights of different codends and proportion of shrimp codend

网目尺寸 /mm Mesh size	航次 Sea trial	哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i>			葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>		
		鱼囊/kg Fish codend	虾囊/kg Shrimp codend	虾囊渔获比重 Proportion of shrimp codend	鱼囊/kg Fish codend	虾囊/kg Shrimp codend	虾囊渔获比重 Proportion of shrimp codend
60	1	1.47(0.21)	3.01(0.58)	0.67(0.07)	0.69(0.13)	0.98(0.12)	0.58(0.05)
	2	1.98(0.39)	3.56(0.53)	0.65(0.04)	1.29(0.17)	1.79(0.35)	0.57(0.03)
75	1	0.78(0.07)	3.36(0.27)	0.81(0.02)	0.48(0.06)	1.3(0.35)	0.72(0.06)
	2	1.07(0.16)	5.19(0.17)	0.83(0.02)	0.68(0.15)	2.17(0.41)	0.76(0.06)
90	1	0.60(0.03)	4.19(0.68)	0.87(0.02)	0.29(0.03)	1.57(0.3)	0.84(0.01)
	2	0.75(0.1)	4.51(0.79)	0.85(0.03)	0.47(0.08)	2.43(0.47)	0.83(0.05)

注: 括号中数字表示标准差; 虾囊渔获比重 = 虾囊捕获虾类质量 / 虾类渔获总质量。

Note: Numbers in the brackets stand for standard deviation. Proportion of shrimp codend = catch weight of shrimp codend / total shrimp catch weight.

2.2 分隔网片的分隔效率

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,因此假设 $R_{1i}=R_{2i}$ 。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),即 $q_{1i}=q_{2i}$,因此分隔网片的分隔效率 ϕ_i 简化为 $\phi_i=p_i \cdot S_i+1-p_i$ 。

根据分隔装置分隔性能分析模型,对哈氏仿对虾和葛氏长臂虾的渔获数据进行拟合,模型参数的

估计值及标准差如表 3 所示。

从表 3 中可以看出,模型对渔获数据具有较好的拟合性 ($P>0.05$)。表 3 还列出不同网目尺寸分隔网片的选择性参数及接触概率参数。根据 REP 方法,发现 2 个航次间存在显著差异 ($P<0.001$),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 $\sqrt{\text{REP}}$ 。

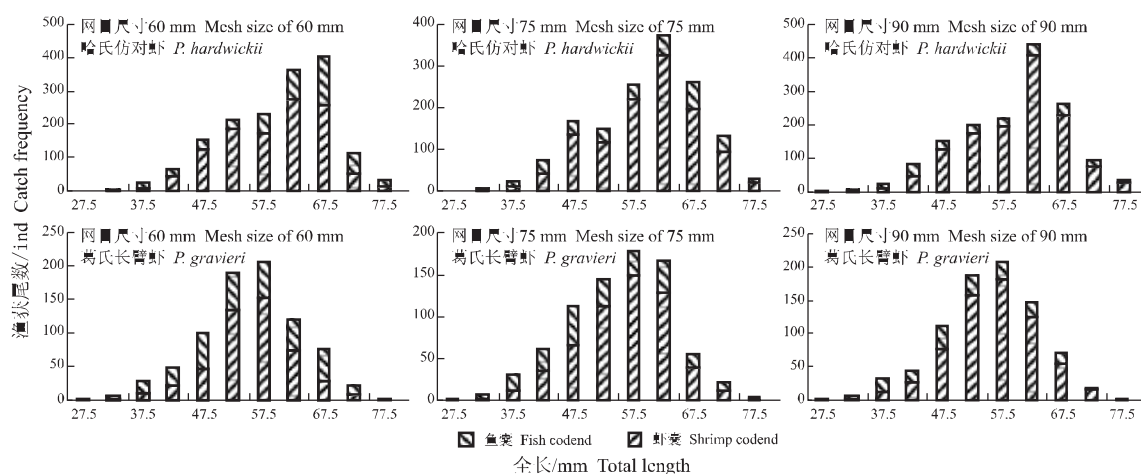


图3 安装不同网目尺寸分隔网片的桁拖网鱼囊和虾囊取样虾类的渔获体长分布

Fig.3 Size frequency of shrimp catches of fish and shrimp codends

表3 哈氏仿对虾和葛氏长臂虾模型拟合及模型参数、选择性参数、接触概率参数估计值

Tab.3 Result of model fit and estimates of model parameters, selectivity parameters and contact probability

项目 Item		网目尺寸 /mm Mesh size					
		哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i>			葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>		
		60	75	90	60	75	90
模型参数 Model parameter	$\hat{a}$	7.52 (1.56)	7.86 (2.95)	7.62 (3.08)	15.07 (4.71)	10.26 (5.10)	6.66 (5.20)
	$\hat{b}$	0.10 (0.02)	0.10 (0.04)	0.08 (0.04)	0.23 (0.07)	0.14 (0.08)	0.07 (0.08)
	$\hat{\alpha}$	9.26 (3.8)	5.94 (2.24)	7.12 (2.28)	5.51 (1.87)	5.06 (1.85)	6.10 (2.34)
	$\hat{\beta}$	0.24 (0.09)	0.15 (0.05)	0.18 (0.05)	0.12 (0.04)	0.12 (0.04)	0.15 (0.06)
选择性参数 Selectivity parameter	L_{50s}	72.30 (1.72)	82.29 (5.93)	91.13 (12.29)	66.09 (1.33)	75.42 (5.00)	88.90 (23.67)
	SR_s	21.13 (4.58)	23.01 (10.18)	26.30 (14.09)	9.64 (3.01)	16.16 (8.91)	29.33 (30.48)
接触概率参数 Contact probability parameter	L_{50p}	38.72 (1.80)	38.98 (2.20)	39.16 (1.83)	44.83 (1.87)	41.37 (2.17)	39.67 (2.22)
	SR_p	9.19 (3.13)	14.43 (4.88)	12.09 (3.48)	17.88 (5.75)	17.96 (6.02)	14.28 (5.14)
模型拟合 Model fit	模型残差 Residuals	7.274	10.825	11.161	9.918	6.894	3.032
	自由度 Degree of freedom	6	6	7	6	6	5
	P	0.296	0.094	0.132	0.128	0.331	0.695
航次间差异 Variance between trials	$\sqrt{REP}$	1.636	1.617	1.610	1.656	1.579	1.574
	P	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

注: 括号中的数字表示参数的标准误差。

Note: Numbers in brackets stand for standard errors of estimated parameters.

3 讨论

3.1 鱼囊对个体选择性假设的合理性

实验中,因虾囊和鱼囊取鱼部使用了相同网目尺寸的网衣,对分隔网片的分隔效率 ϕ_i 进行了简化(即假设 $R_{1i}=R_{2i}$)。笔者注意到,在一般作业情况下,桁拖网网囊腹部网衣会紧贴并接触海底,因此需安装网线较粗的废旧网衣作为加固网片以防网囊破裂,这一作业特性及加固网衣使得虾类个体难以穿越腹部网衣网目,逃逸行为应主要发生于背部网衣。对于分隔式桁拖网的虾囊来说,其底部是密目网衣,对虾类个体没有选择性,虾囊的整体结构与原网囊类似;但对于处于下层的鱼囊,其底部与原网囊一致(接触海底、安装加固网片),但其背部大部分网衣为密目网衣。因此, $R_{1i}=R_{2i}$ 假设的合理

性需要检验。鉴于此,笔者再次对虾囊和鱼囊的选择性进行假设。首先利用张健等^[19]获得的菱形网目对虾类个体的尺寸选择性信息计算虾囊的尺寸选择性,然后假设鱼囊对个体没有尺寸选择性(即 $R_{1i}=1$),根据AIC理论来比较这一假设与原假设($R_{1i}=R_{2i}$)条件下模型拟合优劣性。不同假设条件下,模型对不同网目尺寸分隔网片的渔获数据拟合AIC值如表4所示。由表4可见,无论对于哈氏仿对虾还是葛氏长臂虾, $R_{1i}=R_{2i}$ 假设条件下模型拟合的AIC值都要小于 $R_{1i}=1$ 假设,这表明 $R_{1i}=R_{2i}$ 更符合实际。同时也说明虾类从网囊逃逸主要发生在网囊的后部,而虾类在网囊中的行为主要是被动性行为,这与Hannah等^[20]观察到的结果是一致的。

表4 鱼囊选择性不同假设下模型拟合的AIC值
Tab.4 AIC values of models in different hypothesis of size selectivity of codends

渔获种类 Species	60 mm		75 mm		90 mm	
	$R_{1i}=R_{2i}$	$R_{2i}=1$	$R_{1i}=R_{2i}$	$R_{2i}=1$	$R_{1i}=R_{2i}$	$R_{2i}=1$
哈氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hardwickii</i>	1 823.62	1 823.26	1 453.59	1 453.55	1 192.64	1 192.69
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	1 011.15	1 013.42	886.80	888.46	806.17	807.08

3.2 虾类对于分隔网片的行为反应

与很多评价分隔装置的模型(例如接触概率模型^[21])不同,在分隔网片的分隔效率中,网片对虾类个体的选择性和个体接触网片的概率相互独立,这就使得利用模型分析虾类在网具中的行为反应成为了可能。Broadhurst^[4]认为,总体上,虾类在网具内的行为是被动的。通常情况下,虾类个体在受到网具刺激(例如下纲接触)后,会收缩腹部、垂直向上弹跳,随后停止主动性行为,被动下沉,在这一过程中虾类不具备定向游动能力。从本实验结果(表3)来看,个体接触不同网目尺寸的分隔网片的概率非常接近。通过比较,无论是哈氏仿对虾还是葛氏长臂虾,不同网目尺寸分隔网片接触概率参数和相互之间都不存在显著差异($P>0.05$),这说明虾类对于不同网目尺寸的分隔网片没有行为差异,同时也说明了虾类个体在网具中的行为是被动的,与鱼类在网具内的定向、趋流行为^[22]是完全不同的。

比较哈氏仿对虾和葛氏长臂虾的接触概率参数(L_{50s} 和 SR_p),发现2种虾类之间不存在显著差异。这说明2种虾类对分隔网片的行为方式应该比较一致,个体接触分隔网片的概率主要取决于个

体的大小(即个体的行为能力,例如弹跳高度等)。从虾类的接触概率来看, L_{50p} 约为40 mm,即全长40 mm的虾类个体接触分隔网片的概率为50%,同时 SR_p 较小,这说明大多数进入拖网的虾类个体都将接触到分隔网片,这也说明分隔网片具有较好的渔获分隔潜力。

3.3 分隔网片对虾类的尺寸选择性

在分隔网片分隔效率 ϕ_i 的分析中,使用了Logistic曲线来模拟分隔网片对个体的尺寸选择性,并获得了较好的拟合结果(表3),但选择性参数与利用对比作业法估算的菱形网目网囊对哈氏仿对虾和葛氏长臂虾的尺寸选择性参数具有明显的差异(例如根据菱形网目网囊的曲线参数计算60 mm网目尺寸的菱形网目网囊对哈氏仿对虾的 L_{50s} 为162.0 mm、 SR_s 为63.0 mm,对葛氏长臂虾的 L_{50s} 为151.4 mm、 SR_s 为34.3 mm)。笔者认为,产生这一差异的原因有很多,主要包括:(1)虽然虾类可以穿越拖网网身部网衣而逃网具^[23],但从分隔网片的结构和装配来看,网具的垂直高度很低,使得分隔网片的安装倾角较小,因此在分隔网片表面可能会形成一层流速较大的“水墙”阻止了行为

能力较弱的虾类穿越分隔网片,而在网囊中,水流携带游泳能力较弱的虾类个体穿越网目,因此其穿越网囊网目的概率必定要大于穿越分隔网片时的概率,从这点出发,笔者认为通过增大分隔网片的安装倾角应该可以改善分隔网片对虾类的尺寸选择性,从而提高分隔网片对虾类个体的分隔效果;(2)网囊对虾类的选择性没有考虑虾类个体接触网囊的概率,可以想象,虾类在网囊中的行为通常是被动的,但虾类在网囊中接触网片的概率可大于1,例如从某个网目中未能逃出网囊的个体仍可能会从其它网目逃逸;相反,对于分隔网片,接触分隔网片的个体穿越网目的机会只有1次,若被网片“选择”下来,就直接进入鱼囊,而且即使穿越了分隔网片,其还有可能在下沉过程中再次穿越分隔网片进入鱼囊,因此其选择率必定小于网囊的选择率。

从研究结果来看,随着分隔网片网目尺寸的增大,其对虾类个体的分隔效率也越来越高,但据实验中观察发现,随着网目尺寸的增大,分隔网片对小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)、短吻舌鳎(*Cynoglossus abbreviatus*)等鱼类的分隔效率逐渐降低,因此需谨慎选择分隔网片的网目尺寸。

参考文献:

- [1] Eayrs S, Buxton C, McDonald B. A guide to bycatch reduction in Australian prawn trawl fisheries[M]. Launceston: Australian Maritime College, 1997.
- [2] 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.
- [3] Karlsen L, Larsen R. Progress in the selective shrimp trawl development in Norway[C]// Campbell C M. World Symposium on Fishing Gear and Fishing Vessels; 1989. St. Johns, Canada: Marine Institute, 1989: 30-38.
- [4] Broadhurst M K. Modifications to reduce bycatch in prawn trawls: A review and framework for development[J]. Rev Fish Biol Fish, 2000, 10(1): 27-60.
- [5] Watson J W, Taylor C W. Research on selective shrimp trawl design for penaeid shrimp in the United States: a review of selective shrimp trawl research in the United States since 1973[C]//Proceedings of Fisheries Conservation Engineering Workshop. Rhode Island: Rhode Island Sea Grant, 1991: 50-59.
- [6] Main J, Sangster G I. Trawling experiments with a two-level net to minimise the undersized gaboid by-catch in a *Nephrops* fishery[J]. Fish Res, 1985, 3: 131-145.
- [7] Andrew N L, Kennelly S J, Broadhurst M K. An application of the Morrison soft TED to the offshore prawn fishery in New South Wales, Australia[J]. Fish Res, 1993, 16(2): 101-112.
- [8] Robins-Troeger J B. Evaluation of the Morrison soft turtle excluder device: Prawn and bycatch variation in Moreton Bay, Queensland[J]. Fish Res, 1994, 19(3-4): 205-217.
- [9] Campos A, Fonseca P. The use of separator panels and square mesh windows for by-catch reduction in the crustacean trawl fishery off the Algarve (South Portugal) [J]. Fish Res, 2004, 69(2): 147-156.
- [10] Graham N, Fryer R J. Separation of fish from *Nephrops norvegicus* into a two-tier cod-end using a selection grid[J]. Fish Res, 2006, 82(1-3): 111-118.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Millar R B. Estimation the size-selectivity of fishing gear by conditioning on the total catch[J]. J Am Statist Assoc, 1992, 87: 962-968.
- [14] Millar R B. Sampling from trawl gears used in size selectivity experiments[J]. ICES J Mar Sci, 1994, 51(3): 293-298.
- [15] Fryer R J. A model of between-haul variation in selectivity[J]. ICES J Mar Sci, 1991, 48(1): 281-290.
- [16] Millar R B, Fryer R J. Estimating the size-selection curves of towed gears, traps, nets and hooks[J]. Rev Fish Biol Fish, 1999, 9(1): 89-116.
- [17] 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 J Mar Sci, 2001, 58(3): 657-671.
- [18] Millar R B, Broadhurst M K, Macbeth W G. Modelling between-haul variability in the size selectivity of trawls[J]. Fish Res, 2004, 67(2): 171-181.
- [19] 张健, 孙满昌. 桁拖网不同网目结构的网囊对虾类的选择性 [J]. 中国水产科学, 2008, 15(4): 667-676.
- [20] Hannah R W, Jones S A, Matteson K M. Observations of fish and behavior in ocean shrimp (*Pandalus jordani*) trawls[R]. Oregon: Oregon Department of Fish and Wildlife, 2003.
- [21] Tokai T, Omoto S, Sato R, et al. A method of determining selectivity curve of separator grid[J]. Fish Res, 1996, 27(1-3): 51-60.

- [22] Wardle C S. Fish behavior and fishing gears[M]//Pitcher T J. The Behaviour of Teleost Fishes. London: Croom Helm, 1986: 463-495.
- [23] Polet H. Codend and whole trawl selectivity of a shrimp beam trawl used in the North Sea[J]. Fish Res, 2000, 48(2): 167-183.

Separating efficiency of separator panels rigged in beam trawls for shrimps

ZHANG Jian¹, SUN Man-chang¹, PENG Yong-zhang², YE Xu-chang¹, QIAN Wei-guo¹

(1. The Key Laboratory of Shanghai Education Commission for Oceanic Fisheries Resources Exploitation, College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 200090, China; 2. Ocean and Fishery Bureau of Qidong City, Qidong 226200, China)

Abstract: Research on development of separating beam trawl is important not only to improving the fishing efficiency and quality of catch, but also to achieving the idea of species-selective fishing. The codend of beam trawl could be divided into two levels (the upper for shrimp catch and lower for fish catch) by inserting a separator panel into the codend and extension. In order to analyze separating efficiency of the separator panels with different mesh sizes (60mm, 75mm and 90mm), experiments in 2 sea trials were carried out in the Lvsi Fishing Ground. A model for separating efficiency assessment was fitted to the size frequency of spear littoral shrimp (*Parapenaeopsis hardwickii*) and Chinese ditch prawn (*Palaemon gravieri*) catch. The results demonstrate that the contact probability parameters are not significantly different between the two shrimp species and the 50% contact probability length is approximately 40 mm, which indicates majority of shrimp individuals contact the panels. With the increase of mesh size of separator panels, 50% retention lengths increase and the size selectivity and separating efficiency for shrimps of the panels will be improved correspondingly. The hypothesis that the size selectivities of different codends (codends for shrimps and fishes) for shrimps were identical and can be verified according to model fitness in different hypotheses, though the constructions of different level codends are identifiably different. The significant difference between size selectivity of codend and separator panels is found and the reasons for the difference are discussed. [Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(5): 845-852]

Key words: beam trawl, separator panels, separating efficiency, *Parapenaeopsis hardwickii*, *Palaemon gravieri*

Corresponding author: SUN Man-chang. E-mail: mcsun@shou.edu.cn