中国水产科学 2023 年 10 月, 30(10): 1271–1281
Journal of Fishery Sciences of China

研究论文

DOI: 10.12264/JFSC2023-0221

南海区双船大网目拖网网囊网目对带鱼的选择性

杨炳忠[1, 2], 晏磊[1], 李杰[1], 王腾[1], 张鹏[1]

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部外海渔业开发重点实验室, 广东 广州 510300;
2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306

摘要: 大网目拖网是我国海洋渔业捕捞带鱼的重要渔具。为提高拖网网囊选择性, 本研究在南海区采用套网法对双船大网目拖网 4 组网目尺寸(30、35、40 和 45 mm)的网囊进行实验, 在双重拔靴法的架构下, 拟合选择性参数、比较选择性的差异、估算捕捞方式指标。结果表明, 随着网目尺寸的增大, 网囊对带鱼的 50%选择体长增大, 对带鱼幼鱼个体的选择率显著下降, 带鱼幼鱼的渔获比例也呈下降趋势。结合带鱼最小可捕规格(23.0 cm)管理规定, 结果还表明网目尺寸为 40 mm 的网囊选择性较差, 其对带鱼的抛弃率大于 93%。为了进一步提高带鱼拖网渔业的资源养护水平, 还需要开展更多的选择性实验。

关键词: 拖网; 网囊网目; 选择性; 带鱼

中图分类号: S971 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005–8737–(2023)10–1271–11

带鱼(*Trichiurus lepturus*)属辐鳍亚纲、鲈形目、带鱼科、带鱼属, 分布广泛、产量高, 一直是我国海洋渔业的重要种类。自 20 世纪末, 全国带鱼年产量将近 100 万 t, 之后成为年产最高的单一品种; 近年来, 由于长期遭受过大的捕捞压力, 年产量下降为 90 万 t[1-2]。然而, 带鱼不仅年产量下降, 而且生物学特征也发生了不可忽视的变化。比如, 最近的研究表明, 我国沿海带鱼存在性成熟提早、个体小型化和体长结构简单化的趋势[3-4]。因此, 带鱼资源的养护、修复和合理利用需要引起高度重视。

我国沿海带鱼的作业渔具包括刺网、张网和钓等; 由于带鱼底栖的生活习性, 在 12 类渔具中捕捞效率最高的为拖网。自 20 世纪 80 年代以来, 随着渔业资源的变化, 带鱼拖网渔业的渔具也发生了变化; 其中, 最典型为大网目拖网的引进和使用。所谓大网目拖网是指增大拖网前部网衣的网目尺寸, 减少阻力、降低能耗, 增加网口高度和滤水体积, 以提高产量[5-8]。大网目拖网不仅适合单船作业, 也适用于双船作业, 即两条渔船拖曳同一顶网具。据记录, 南海区双船大网目拖网兴起于 20 世纪 80 年代末, 其初始目标种类为带鱼; 随着网口网目尺寸的增大和网口高度的增加, 还可捕捞蓝圆鲹等中上层资源; 年产量平均为 500 t, 最高达到 1500 t[9]。

近年来, 由于渔业资源的衰退, 南海双船大网目拖网的捕捞效益下降, 渔船数量也有所减少。该作业方式的可持续发展存在亟需解决的问题。其中, 最大问题在于如何提高网囊的选择性。由于大网目拖网仅增大了网具前部(网袖、网口和部分网身)网衣的网目尺寸, 集中渔获物的网囊网目尺寸并无显著增大。当网囊网目尺寸小、选择性差时, 使用大网目拖网作业会增加渔业资源的捕捞压力。根据调查数据, 我国沿海拖网网囊网目尺寸往往偏小。比如, 南海区平均网目尺寸仅为 27 mm[10]。假如大网目拖网网囊的网目尺寸如

收稿日期: 2023-09-04; **修订日期:** 2023-10-08.

基金项目: 国家重点研发计划专项(2020YFD0901205); 中国水产科学研究院基本科研业务费项目(2019CY0303); 农业农村部财政项目“渔具标准及管理制度完善”.

作者简介: 杨炳忠(1984–), 男, 博士研究生, 副研究员, 研究方向为渔具渔法及选择性. E-mail: yangbingzhong@scsfri.ac.cn

此小，其对带鱼的选择性如何？能否实现对幼鱼资源的有效保护？这些问题均缺少研究解答。同时，最近已有文献表明，我国拖网渔获中带鱼的幼鱼比例较高[11]。

最早于 20 世纪 80 年代，在东海区开展过单船拖网网囊对带鱼的选择性研究，之后又陆续开展过一些类似研究[12-15]。南海区相关研究集中于单船拖网和桁杆拖网，涉及种类主要为蓝圆鲹等[16-17]，关于双船大网目拖网网囊对带鱼的选择性研究尚未见相关报道。根据渔具最小网目尺寸管理规定，南海区带鱼拖网网囊最小网目尺寸为 40 mm[18]。在双船大网目拖网渔业中，符合该管理规定的网囊选择性如何？同时，根据重要经济种类最小可捕标准管理规定，南海区带鱼的最小可捕规格为 23.0 cm (肛长)[19]。那么最小网目尺寸与最小可捕规格管理规定之间能否实现有效匹配和对接？

为了探讨上述技术问题，本研究对南海双船大网目拖网 4 组不同网目尺寸的网囊进行实验，研究其对带鱼的选择性，为提高带鱼拖网渔业的资源养护水平提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 实验时间、渔船和区域

实验于 2016 年 4 月 7 日至 16 日进行，渔船为一对双拖船，船名分别为“桂北渔 26066”和“桂北渔 26065”。两船型号规格一致：船长 34.75 m、总吨位 275 t、主机功率 294 kW。实验区域为南海北部湾涠洲岛西南至海南近海区域(图 1)，平均水深为 53 m (范围：38~67 m)。

1.2 渔具及实验设计

实验渔具为双船大网目拖网(图 2)，由网衣、纲索和属具组成。网衣包括袖网衣、身网衣和囊网衣。网袖和网口网目尺寸 10000 mm，之后递减至 60 mm。网口网目数 80 目，网衣纵向拉直长度 168.6 m。上纲长度 149 m，配备 55 个硬塑料浮子(直径为 300 mm)，总浮力 1300 kgf；下纲长度 145 m，配备铁链，总重量 1200 kg。

在网具原有网囊规格的基础上，设计了 4 组网目尺寸分别为 30、35、40 和 45 mm 的实验网囊；其长度规格和网线材料相同：横向拉直周长为 19.8 m、纵向拉直长度为 13.5 m、网线材料为 PE 36tex2。按网目尺寸对网囊进行编号，分别为 D30、D35、D40 和 D45 (图 2)，实测网目内径分别为 23.4、27.0、30.0 和 35.5 mm。采用套网法[20]开展实验；套网的横向和纵向拉直长度为实验网囊的 1.5 倍，实测网目内径为 12 mm；利用 12 组水下扩张装置(kites)来减少套网对实验网囊可能存在的“覆盖效应”，扩张装置的规格参考 He[21]和 Grimaldo 等[22]。

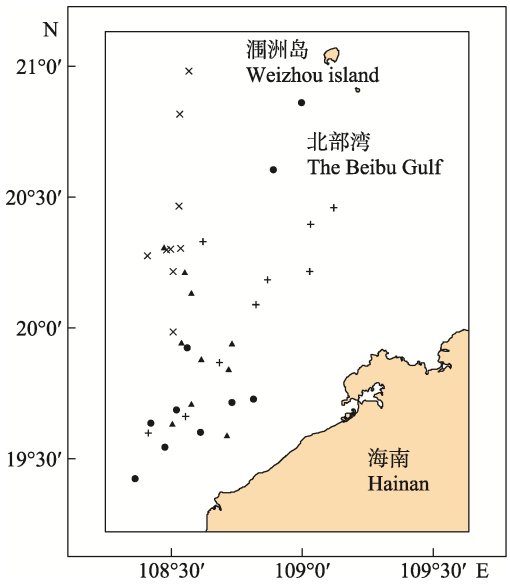

图 1 实验区域

●表示 D30 网囊，▲表示 D35 网囊，×表示 D40 网囊，+表示 D45 网囊.

Fig. 1 Map of the sea trials

● represent the D30 codend, ▲ represent the D35 codend, × represent the D40 codend, and + represent the D45 codend.

将实验网囊逐一装配于实验渔具上，然后开展重复拖曳实验，每个网囊计划重复 10 个网次，然后保持渔具和套网的结构不变，更换下一个网囊进行实验。每个实验网次中，渔船的拖速、曳纲长度、两船间距和拖曳时长等作业参数尽量保持一致。每次作业起网后，分别处理实验网囊和套网的渔获物，对所有带鱼渔获进行生物学测量。

1.3 选择性参数的估算

在套网法中，进入拖网的带鱼要么被网囊捕获，要么逃逸到套网中；因此，网囊和套网中的渔获数量应服从二项分布。理论上，网囊对肛长

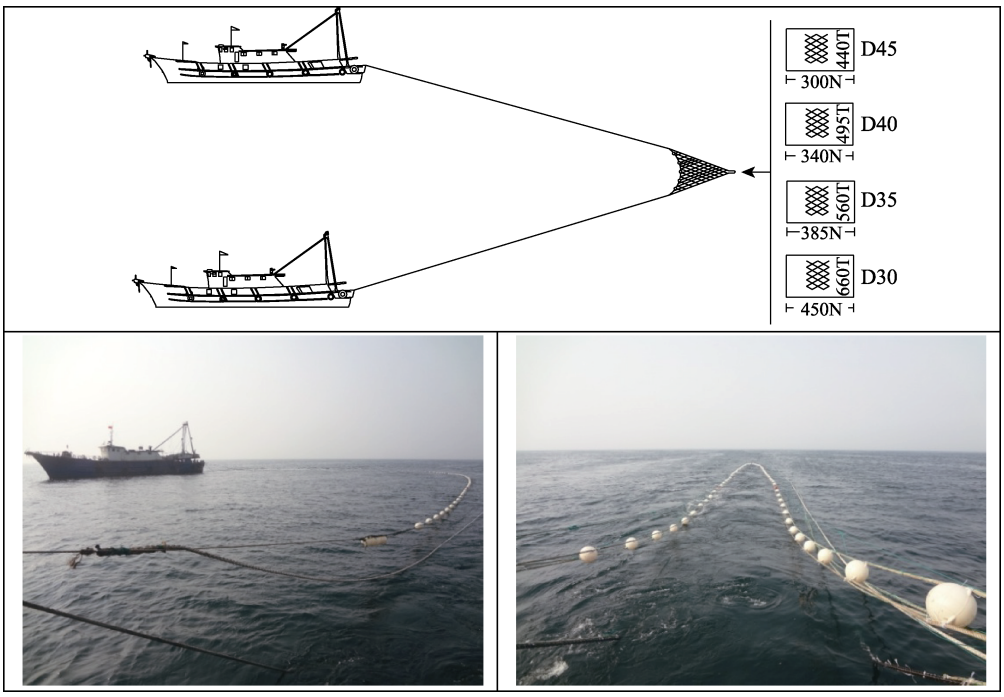

图 2　作业实验图(上)及海上实景图(下)

Fig. 2　Schematic diagram of pair trawling (the first row) and its actual fishing scenarios (the second row)

为 l 带鱼个体的选择率 $r_j(l)$可由该二项分布的渔获数据计算。但是实际上, $r_j(l)$在不同实验网次间存在不确定性和差异[23]。笔者需要估算网囊在所有网次的平均选择率 $r_{av}(l, v)$, 由其代表网囊的选择性[24-25]。$r_{av}(l, v)$中, av 为平均(average)的英文缩写, v 为待估算的选择性参数, 可使用极大似然估算法估算:

$$-\sum_{j=1}^{m}\sum_{l}\{nR_{jl}\times\ln(r_{av}(l,v))+nE_{jl}\times\ln(1.0-r_{av}(l,v)) \quad (1)$$

式中, m 为实验网次数, nR_{jl}为第 j 实验网次时网囊中肛长为 l 的带鱼数量, nE_{jl}为相应套网中肛长为 l 的带鱼数量。

使用 4 组备选模型拟合选择率 $r_{av}(l, v)$, 分别为 Logit、Probit、Gompertz 和 Richards:

$$r_{av}(l,v)=\begin{cases}\mathrm{Logit}(l,\mathrm{L50},\mathrm{SR})\\ \mathrm{Probit}(l,\mathrm{L50},\mathrm{SR})\\ \mathrm{Gompertz}(l,\mathrm{L50},\mathrm{SR})\\ \mathrm{Richards}(l,\mathrm{L50},\mathrm{SR},1/\delta)\end{cases} \quad (2)$$

前 3 组模型可用选择性参数 L50 (50%选择体长)和 SR (选择范围, selection range)表达; Richards 模型则需要增加参数 δ。4 组模型的详细介绍可参考 Wileman 等[20]。

首先, 利用公式(1)和(2)拟合实验网囊的赤池信息指数(Akaike information criterion, AIC)值[26], 将 AIC 值最小的模型作为最佳模型。然后, 利用最佳模型通过双重拔靴法(double-bootstrapping technique)模拟选择性的不确定性, 估算选择性参数和选择性曲线的 95%置信区间[27-32]。最后, 最佳模型对实验数据的拟合度优劣可通过比较 P 值(P-value)与 0.05 的大小判断: 1) 当 P 值大于 0.05 时, 认为拟合度较好; 2) 当 P 值小于 0.05 时, 则需要通过观察体长个体残差正负数值的分布情况, 以确定该结果是由于模型的结构问题还是实验数据的过度离散造成[20]。

1.4　选择性差异的比较

由于所有网囊在同一时空范围内使用相同渔船和渔具进行实验, 所以通过比较网囊对带鱼的选择性差异, 可量化网目尺寸的变化对网囊选择性的影响。选择性差异[$\Delta r(l)$]可通过以下公式计算:

$$\Delta r(l)=r_b(l)-r_s(l) \quad (3)$$

式中, $r_b(l)$表示网目尺寸较大的网囊对带鱼的选择性, $r_s(l)$表示网目尺寸较小的网囊对带鱼的选择性。$\Delta r(l)$的置信区间可通过双重拔靴法估算。当 $\Delta r(l)$的置信区间不包含 0.0 时, 认为两个网囊

选择性的差异在统计学上是显著的。

1.5 捕捞方式指标的估算

除了选择性外，还需要根据带鱼的最小可捕规格估算实验渔具对资源的利用方式，以评价该渔业的资源养护水平。这些信息可通过估算捕捞方式指标获取。本研究估算实验网囊对带鱼的 3 个捕捞方式指标，分别为 *nP*-、*nP*+和 *dnRatio*，计算公式如下：

$$nP- = 100 \times \frac{\sum_{l<MLS} \{r_{av}(l,v) \times nPop_l\}}{\sum_{l<MLS} \{nPop_l\}}$$

$$nP+ = 100 \times \frac{\sum_{l\geqslant MLS} \{r_{av}(l,v) \times nPop_l\}}{\sum_{l\geqslant MLS} \{nPop_l\}} \tag{4}$$

$$dnRatio = 100 \times \frac{\sum_{l<MLS} \{r_{av}(l,v) \times nPop_l\}}{\sum_{l} \{r_{av}(l,v) \times nPop_l\}}$$

式中，$nPop_l$ 表示渔场中带鱼群体的肛长分布，MLS (minimum landing size)表示带鱼的开捕规格(23.0 cm)。在此研究中，对于肛长小于 23.0 cm 的带鱼个体定义为幼鱼，肛长等于或大于 23.0 cm 的带鱼个体为成鱼。这些捕捞方式指标中，*nP*-表示带鱼幼鱼被网囊捕获的比例；*nP*+表示带鱼成鱼被网囊捕获的比例；*dnRatio* 表示带鱼幼鱼占网囊总渔获的比例，也称为抛弃率。一般而言，*nP*-和 *dnRatio* 越小越好，*nP*+则越大越好[29]。

上述所有数据处理均使用选择性软件 SELNET[25,28,30-32]进行。双重拔靴法的数据处理操作内置于 SELNET 中，具体应用实例和操作可参考文献[28]。站点图使用 ArcGIS 10.7 绘制，选择性曲线图使用 R 和 ggplot2 数据包绘制。

2 结果与分析

2.1 实验基本概况

实验期间，渔船的平均拖速为 3 kn，网次拖曳时长 3 h，共完成 38 个有效网次；其中，D30 和 D35 网囊各 10 个有效网次，D40 和 D45 网囊各 9 个有效网次。渔获种类共 39 种，包括 38 种鱼类和 1 种头足类。在渔获物中，带鱼是绝对优势种，其重量占各个实验网次总渔获重量的 40%以上。带鱼总数量为 2356 尾，其中：D30 网囊实验 290 尾，D35 网囊实验 907 尾，D40 网囊实验 478 尾，D45 网囊实验 681 尾。对全部带鱼进行了生物学测量，肛长范围 3.5~38.5 cm，第一肛长峰值为 7.5~8.5 cm，第二肛长峰值为 12.5~14.5 cm，绝大多数带鱼个体肛长小于最小可捕规格(图 3)。

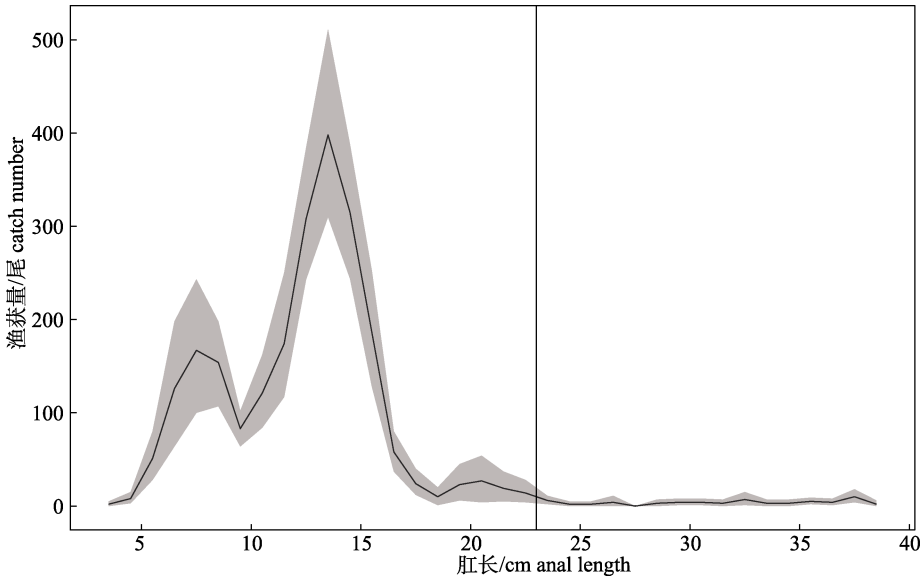

图 3 带鱼的肛长分布曲线

黑色曲线表示肛长分布，阴影区域表示其置信区间；垂直直线表示带鱼的最小可捕规格(23.0 cm).

Fig. 3 Anal length distribution of largehead hairtail

Black curve represents the anal length distribution and shaded areas are the confidence intervals, while the vertical line represents the minimum landing size of largehead hairtail (23.0 cm).

2.2　选择性参数及选择性曲线

根据备选模型的 AIC 值, D30 网囊的最佳模型为 Richards, 其余网囊的最佳模型均为 Gompertz (表 1)。所选最佳模型对实验数据的拟合度均很好, 因为 *P* 值全部显著大于 0.05 (表 2)。总体上看, 随着网目尺寸的增大, 实验网囊对带鱼的 L50 值(除 D35 网囊外)逐渐增大。比如, D30 网囊的 L50 为 12.22 cm, D45 网囊的值增加到 13.24 cm。除了 D45 网囊的 L50 值显著大于 D35 网囊外, 由于置信区间的重叠, 其他实验网囊的 L50 值差异在统计学上不显著。同样地, 实验网囊对带鱼的 SR 值有一定的差异, 但在统计学上也不显著(表 2)。

拟合的选择性曲线表明, 实验网囊对带鱼的选择率较高: D30 网囊对肛长为 14.0 cm 的带鱼个体选择率超过 80%, 对肛长为 23.0 cm 的个体选择率为 100%; D35 网囊对肛长为 15.0 cm 的带鱼个体选择率超过 80%, 对肛长为 23.0 cm 的个体选择率为 98.85%; D40 网囊对肛长为 16.4 cm 的带鱼个体选择率超过 80%, 对肛长为 23.0 cm 的个体选择率为 96.33%; D45 网囊对 16.5 cm 的带鱼个体选择率超过 80%, 对肛长为 23.0 cm 的个体选择率为 97.92% (图 4)。

表 1　模型拟合的 AIC 值

Tab. 1　Akaike's information criterion (AIC) values of each model of the tested codends

网囊 codend	模型 model			
	Logit	Probit	Gompertz	Richards
D30	259.92	259.19	266.62	**255.53**
D35	869.73	866.86	**849.12**	851.31
D40	540.37	539.16	**533.24**	535.32
D45	526.29	520.81	**514.82**	516.9

注: 加粗字体表示最佳模型 AIC 值.

Note: Figures in bold indicate AIC value of the most optimal model.

2.3　选择性差异的比较

比较实验网囊对带鱼选择性的差异, 发现随着网目尺寸的增大, 网囊对某个肛长范围的带鱼个体选择率显著降低: D35 网囊对于肛长为 14.3~28.5 的带鱼个体选择率显著小于 D30 网囊; D40 网囊对于肛长>13.8 cm 的带鱼个体选择率显著小于 D30 网囊; D45 网囊对于肛长>13.5 cm 的带鱼个体选择率显著小于 D30 网囊; 与 D35 网囊相比, D45 网囊对于肛长为 5.8~15.0 cm 的带鱼个体选择率显著减小; D45 网囊对于肛长为 6.1~11.4 cm 的带鱼个体选择率显著小于 D40 网囊; 仅网囊 D40 和 D35 对带鱼的选择率差异在统计学上不显著(图 5)。

2.4　捕捞方式指标

总体上, 随着网目尺寸的增大, 实验网囊对带鱼幼鱼(*nP*-)和成鱼(*nP*+)的渔获比例呈下降趋势。比如, D30 网囊的 *nP*−和 *nP*+分别为 57.10%和 100.00%, D45 网囊的相应值分别下降为 40.06%和 99.67% (表 3)。但是, 由于置信区间的重叠, 捕捞方式指标间的差异在统计学上不显著。4 组实验网囊对带鱼的抛弃比例(*dnRatio*)均高于 93%, 随着网目尺寸的增大, 数值呈下降的趋势。但是, 这些差异在统计学上也不显著(表 3)。

3　讨论

如何建设资源养护型的捕捞业是中国现代渔业可持续发展必须解决的核心问题。以渔具渔法作为切入点无疑是成功解决该问题的基石, 因为渔具渔法是捕捞业的最基础生产要素。本研究以

表 2　实验网囊对带鱼的选择性参数及拟合度

Tab. 2　Selective parameters and fit statistics obtained from the selected models for the tested codends

网囊 codend	参数 parameter						
	模型 model	50%体长/cm L50	选择范围/cm selective range	曲度 δ	*P*	残差 deviance	自由度 d*f*
D30	Richards	12.22 (9.46–13.33)	3.81 (1.65–5.56)	0.10 (0.01–100.00)	0.9993	5.19	19
D35	Gompertz	11.70 (11.14–12.30)	4.34 (3.54–5.15)		0.9055	19.58	29
D40	Gompertz	12.63 (11.64–13.53)	5.21 (3.82–6.66)		0.5368	24.69	26
D45	Gompertz	13.24 (12.46–13.99)	4.39 (3.52–5.24)		0.7150	24.28	29

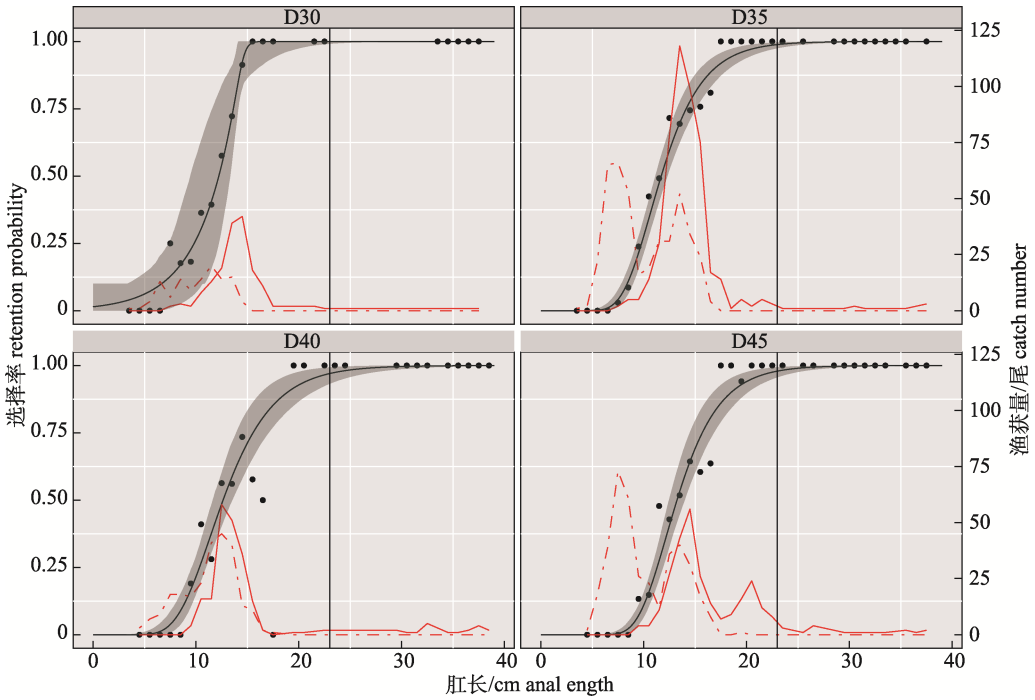

图 4　网囊对带鱼的选择性曲线

黑色圆点表示实际选择率；黑色曲线表示理论选择率，阴影区域表示其置信区间；红色曲线表示网囊的渔获数量，红色虚线表示套网的渔获数量；垂直直线表示带鱼的最小可捕规格(23.0 cm).

Fig. 4　Selectivity curves of codends for largehead hairtail

Black dots represent the actual catch retention. Black curves are the selectivity curves and shaded areas are confidence intervals. Red solid curves represent the catch number from the tested codends while red dotted curves are the number from the covers. The vertical line represents the minimum landing size of largehead hairtail (23.0 cm).

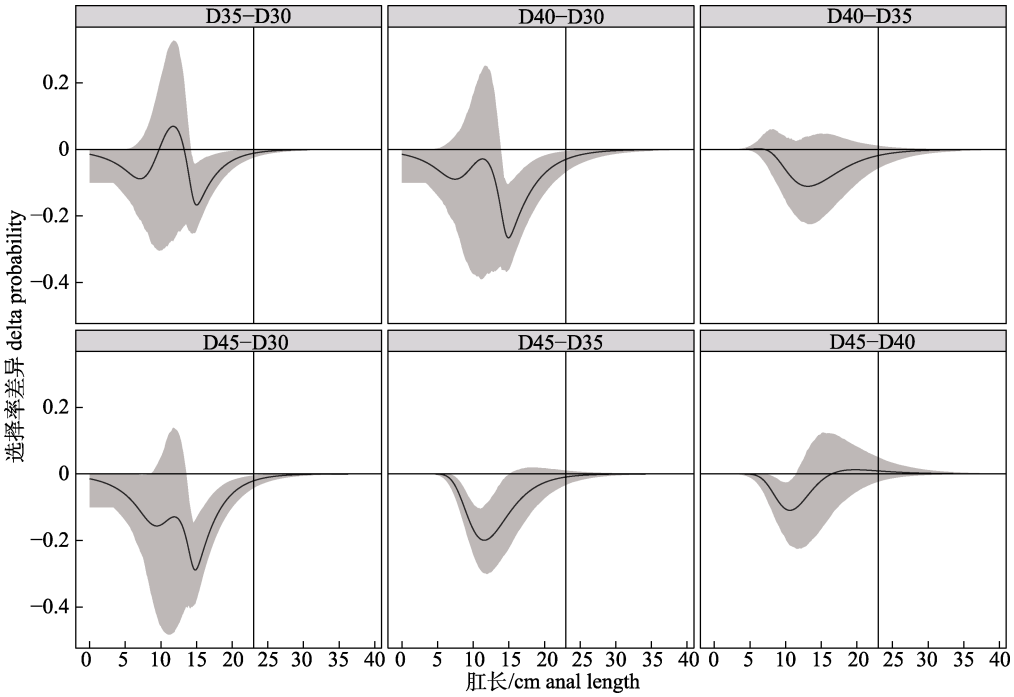

图 5　实验网囊对带鱼选择性的比较

黑色曲线表示选择性差异，阴影区域为置信区间；垂直直线表示带鱼的最小可捕规格(23.0 cm).

Fig. 5　Comparison of size selectivity of codends with different mesh sizes for largehead hairtail

Black curves represent delta selectivity and shaded areas are confidence intervals, while vertical lines represent the minimum landing size of largehead hairtail (23.0 cm).

表 3　实验网囊的捕捞方式指标

Tab. 3　Exploitation pattern indicators obtained for the tested codends

%

网囊 codend	幼体比例 *nP*–	成体比例 *nP*+	抛弃率 *dnRatio*
D30	57.10 (45.05–71.32)	100.00 (99.86–100.00)	95.43 (93.28–97.18)
D35	52.56 (45.75–58.90)	99.81 (99.51–99.95)	95.06 (93.11–96.87)
D40	45.06 (38.41–53.63)	99.44 (98.27–99.92)	94.31 (91.72–96.42)
D45	40.06 (33.73–48.07)	99.67 (99.12–99.92)	93.63 (91.02–95.99)

我国近海典型的双船大网目拖网为对象, 研究其网囊对带鱼的选择性, 结合带鱼的最小可捕规格探讨现行管理规定的科学性和有效性, 为建设资源养护型的拖网渔业提供参考。通过比较 4 组实验网囊的选择性发现: 通过改变网目尺寸可提升拖网对带鱼的选择性, 优化捕捞方式, 提高产业的资源养护水平。比如, 将网目尺寸从 30 mm 增大到 40 或 45 mm, 网囊对带鱼的 L50 值增大、*nP*– 减少, 更重要的是网囊对带鱼幼鱼个体的选择率显著减小(图 5)。捕捞渔业的资源养护水平取决于其对渔业资源幼鱼的保护程度[33-35]。本研究表明, 控制网囊网目尺寸可为促进拖网渔业的可持续发展贡献力量。

然而, 本研究的结果表明, 仅将网囊网目尺寸从 30 mm 增大到 40 或 45 mm, 还不足以使拖网渔业达到较高的资源养护水平。比如, 即使是网目尺寸最大的 D45 网囊, 其对带鱼的 L50 值也仅为 13.24 (置信区间: 12.46~13.99) cm, 远小于带鱼的最小可捕规格 23.0 cm; 另外, D45 网囊对肛长为 16.5~22.9 cm 的幼鱼个体选择率均高于 80%; D45 网囊的抛弃率也高于 93%。这些结果表明, 网囊的选择性还需要进一步的优化和升级。但是, 从整体来看, 本研究对于渔具最小网目尺寸管理规定还是有启示作用的。据调查数据, 南海区拖网网囊网目尺寸偏小, 广东省沿海的网囊网目尺寸平均为 27 mm, 范围为 16.7~35.2 mm[10]。本研究的结果表明, 将网目尺寸从 30 mm 增大到 40 或 45 mm, 可在一定程度上提高拖网对带鱼的选择性和渔业的资源养护水平。本研究的数据也能反映出现行渔具管理规定的科学性和合理性。

随着带鱼资源量的衰退, 拖网的选择性也逐渐引起社会各界的关注。拖网网囊对带鱼选择性的研究也有一些文献记录。比如, 黄洪亮等[13]于东海区使用网目尺寸分别为 45、54 和 65 mm 的网囊进行实验, 其 L50 值分别为 13.1、16.3 和 18.2 cm; 约 10 年之后, 黄洪亮等[14]在东海区使用网目尺寸分别为 50、55、60、65、70、75 和 80 mm 的网囊进行实验, L50 值依次为 13.1、14.1、13.5、17.5、18.3、18.4 和 19.1 cm。Tokai 等[36]利用科考船的数据, 研究了网目尺寸为 54 mm 的网囊对带鱼的选择性, 获取的 L50 为 10.8 cm。在黄海区, 许庆昌等[15]使用双船拖网研究了网囊对带鱼的选择性, 网目尺寸分别为 51.6 和 61.4 mm, 获取带鱼的 L50 值为 15.3 和 18.7 cm。虽然, 本研究的实验渔具、实验时空等与上述文献有一定的差异, 但是带鱼 L50 值的变化趋势与这些文献大体一致: 随着网目尺寸的增大, L50 值逐渐增大。但是, 由于上述参考文献未提供 L50 值的置信区间, 因此无法进行差异显著性的分析。另外, 本研究采用的数据拟合方法与上述文献有一定的差异: 1) 文献仅将网次数据进行叠加处理拟合出选择性参数, 不考虑选择性的不确定性, 本研究则采用双重拔靴法拟合了选择性的不确定性, 并且以选择性置信区间的形式展示; 2) 文献未比较不同网目尺寸网囊对带鱼的选择性差异, 本研究通过比较差异发现增大网目尺寸可显著减小带鱼幼鱼的选择率; 3) 文献未估算实验网囊对带鱼的捕捞方式指标。因此, 笔者认为本研究采用的方法能更加透彻地研究实验网囊对带鱼的选择性, 更好地为渔具管理提供科学参考。

本研究的部分结果不仅取决于网囊的选择性, 还跟带鱼的最小可捕规格直接相关。比如, 网囊对带鱼幼鱼的选择率和捕捞方式指标的估算都与最小可捕规格的大小相关。当可捕规格改变时,

相应的估算结果会有一定的差异。本研究采用的最小可捕规格为23.0 cm, 但是有研究表明南海区的带鱼最小可捕规格应定为 25.0 cm[37]或者28.7 cm[38]。南海现行最小可捕规格于 2018 年颁布, 之后尚无更新或修订工作。相比之下, 东海区的研究已陆续发表[39-40]。目前, 已有研究表明带鱼个体存在一定程度的小型化趋势[41-42]。因此, 为促进南海区带鱼拖网渔业向资源养护型转变, 最小可捕规格的持续研究需加紧开展。

值得注意的是, 本研究的实验数据可能存在一定的时空局限性。因为实验时间仅为 10 d, 渔场的绝对范围也不大。同时, 实验期间带鱼的整体产量不高, 其原因主要有: 1) 南海带鱼种类集群度远低于东海区, 网次产量不高; 2) 带鱼的个体偏小, 仅有很少个体肛长超过200 mm; 3) 为了尽量减少实验网次间的差异性, 渔船未进行长距离、频繁地更换渔场。为了对本研究的结论进行验证、补充和完善, 今后需要开展更多的选择实验。另外, 南海区双拖网渔船在一些特定的渔场和季节会临时改为单船作业, 但仍然使用大网目拖网捕捞。因此, 也很有必要开展南海区单船大网目拖网网囊对带鱼的选择性研究, 以探索和比较两种作业方式网囊选择性的差异性, 为其科学管理提供技术支撑。

目前, 大网目拖网已经被广泛应用于我国海洋捕捞领域。该渔具有能耗低、拖速快、网口高、作业方式灵活、捕捞对象广泛等优良特点。虽然本研究在时空上有一定的局限性, 但是研究结果可为带鱼拖网渔业的转化和升级提供技术方案。同时, 也可为未来的研究工作指明方向。建议后续研究可继续以拖网渔具本身为切入点, 开展更加系统和完整的选择性研究。比如, 进一步增大网囊网目尺寸、使用转向网目网囊(T90 或 T45)、安装方形网目幼鱼逃逸窗等技术手段[43]都可作为未来研究的思路和方向。

参考文献:

[1] Xu Z L, Chen J J. Migratory routes of Trichiurus lepturus in the East China Sea, Yellow Sea and Bohai Sea[J]. Journal of fisheries of China, 2015, 39(6): 824-835. [徐兆礼, 陈佳杰. 东、黄渤海带鱼的洄游路线[J]. 水产学报, 2015, 39(6): 824-835.]

[2] Administrative department for fisheries the ministry for agriculture and rural affairs, national fisheries technology extension center, China society of fisheries. Chinese Fishery Yearbook 2023[R]. Beijing: China Agriculture Press, 2023, 1-159. [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2023 中国渔业统计年鉴[R]. 北京: 中国农业出版社, 2023, 1-159.]

[3] Shi D F, Zhang K, Cai Y C, et al. Population structure of *Trichiurus japonicas* in northern South China Sea and parameters of its growth, mortality and maturity[J]. South China Fisheries Science, 2020, 16(5): 51-59. [史登福, 张魁, 蔡研聪, 等. 南海北部带鱼群体结构及生长、死亡和性成熟参数估计[J]. 南方水产科学, 2020, 16(5): 51-59.]

[4] Cheng S, Sun P, Liu Y, et al. Age, Growth and Maturation of Largehead Hairtail (*Trichiurus japonicus*) in the East China Sea[J]. Journal of Ocean University of China, 2022, 21(5): 1244-1250.

[5] Yang L, Wang F. Report of trawls with large mesh-size in forefront section in sea trials of the South China Sea[J]. China Fisheries, 1994, 12: 38-39. [杨吝, 王茀良. 南海大目拖网实验简报[J]. 中国水产, 1994, 12: 38-39.]

[6] Lin D F, Yan Y X, Huang W Q, et al. Experimental on technique of trawl with large mesh in Beihai[J]. Marine Fisheries Research, 2000, 21(1): 68-72. [林德芳, 闫永祥, 黄文强, 等. 北海大网目拖网技术实验[J]. 海洋水产研究, 2000, 21(1): 68-72.]

[7] Lin D N. Generalization and Trial of Multi-layer Large Mesh Trawl[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 24(3): 36-41. [林东年. 变水层大网目拖网实验与推广[J]. 湛江海洋大学学报, 24(3): 36-41.]

[8] Wang Y J, Zhang Y, Xu G D, et al. Progress and Application Status on Trawls with Large-size mesh in China[J]. Journal of Agriculture Science and Technology, 2015, 17(1): 160-166. [王永进, 张禹, 徐国栋, 等. 我国大网目拖网渔具研究进展与应用现状[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(1): 160-166.]

[9] Yang L. Fishing gears and fishing methods in South China Sea[M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 2002: 1-237. [杨吝. 南海区海洋渔具渔法[M]. 广州: 广东科技出版社, 2002: 1-237.]

[10] Yang L, Zhang X F, Sun D R, et al. Investigation on Cod-ends of Trawl in Guangdong[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2001, 21(4): 22-26. [杨吝, 张旭丰, 孙典荣, 等. 广东省拖网网囊调查[J]. 湛江海洋大学学报, 2001, 21(4): 22-26.]

[11] Su L, Xu Y W, Zhang K, et al. Development trend of trawl

fishery and its impact on fishery resources in South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2023, 19(4): 41-48. [粟丽, 许友伟, 张魁, 等. 南海区拖网渔业发展趋势及其对渔业资源的影响[J]. 南方水产科学, 2023, 19(4): 41-48.]

[12] Rui S L. On the selectivity of trawl cod-end mesh for the Donghai Sea population of hairtail[J]. Journal of Fisheries of China, 1984, 8(4): 295-303. [芮少麟. 拖网囊网网目及其对东海带鱼选择性的研究[J]. 水产学报, 1984, 8(4): 295-303.]

[13] Huang H L, Wang M Y, Xun B S, et al. Study on selectivity of mesh size of cod-end of trawl in the East China Sea region [J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(2): 232-237. [黄洪亮, 王明彦, 徐宝生, 等. 东海区拖网网囊网目选择性研究[J]. 水产学报, 2005, 29(2): 232-237.]

[14] Huang H L, Tang F H, Chen X Z, et al. Nets Selectivity of Capsule Size Diamond Mesh of *Trichiurus haumela* in East China Sea During Summer[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2016, 33(5): 433-442. [黄洪亮, 唐峰华, 陈雪忠, 等. 夏季东海区带鱼的网具选择性实验研究[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(5): 433-442.]

[15] Xu Q C, Li X S, Sun S, et al. Studies on the Cod-end Mesh Selectivity of Pelagic pair Trawls in Yellow Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2020, 50(5): 53-60. [许庆昌, 李显森, 孙珊, 等. 黄海双船变水层疏目拖网网囊网目尺寸选择性研究[J]. 中国海洋大学学报, 2020, 50(5): 53-60.]

[16] Yang B Z, Yang L, Tan Y G, et al. Size selectivity of codend mesh size of shrimp beam trawl for *Metapenaeus ensis* in South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2019, 15(2): 1-11. [杨炳忠, 杨吝, 谭永光, 等. 南海区虾拖网网囊对刀额新对虾的选择性研究[J]. 南方水产科学, 2019, 15(2): 1-11.]

[17] Li Y N, Yang B Z, Zhang P, et al. Size selectivity of codend mesh size of trawl for *Decapterus maruadsi* in northern part of South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2022, 18(3): 170-173. [李亚男, 杨炳忠, 张鹏, 等. 南海北部拖网对蓝圆鲹的选择性研究[J]. 南方水产科学, 2022, 18(3): 170-173.]

[18] Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Bulletin of the ministry of agriculture for implementing the minimum mesh size of marine fishing gears [EB/OL]. (2013-12-20) [2023-08-15] http://www.moa.gov.cn/nybgb/2013/dseq/201805/t20180510_6141829.htm [中华人民共和国农业农村部. 关于实施海洋捕捞准用渔具最小网目尺寸制度的通告[EB/OL]. (2013-12-20) [2023-08-15] http://www.moa.gov.cn/nybgb/2013/dseq/201805/t20180510_6141829.htm]

[19] Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Bulletin of the ministry of agriculture for implementing the minimum landing size and catch proportion of undersized individuals of 15 ecologically important fish species including largehead hairtail [EB/OL]. (2018-02-12) [2023-08-15] http://www.moa.gov.cn/gk/zcfg/nybgz/201802/t20180213_6136943.htm [中华人民共和国农业农村部. 关于实施带鱼等 15 种重要经济鱼类最小可捕标准及幼鱼比例管理规定的通告[EB/OL]. (2018-02-12) [2023-08-15] http://www.moa.gov.cn/gk/zcfg/nybgz/201802/t20180213_6136943.htm]

[20] Wileman D, Ferro R S T, Fonteyne R, et al. Manual of Methods of Measuring the Selectivity of Towed Fishing Gear [R]. ICES Cooperative Research Report, 1996, 215: 1-126.

[21] He P G. Selectivity of large mesh trawl codends in the Gulf of Maine: I. Comparison of square and diamond mesh[J]. Fisheries Research, 2007, 83 (1): 44-59.

[22] Grimaldo E, Larsen RB, Sistiaga M, et al. Selectivity and escape percentages during three phases of the towing process for codends fitted with different selection systems[J]. Fisheries Research, 2009, 95, 198-205.

[23] Fryer R J. A model of between-haul variation in selectivity [J]. ICES Journal of Marine Science, 1991, 48(3): 281-290.

[24] Millar R B. Incorporation of between-haul variation using bootstrapping and nonparametric estimation of selection curves[J]. Fishery Bulletin, 1993, 91: 564-572.

[25] Herrmann B, Sistiaga M, Nielsen K N, et al. Understanding the Size Selectivity of Redfish (*Sebastes* spp.) in North Atlantic Trawl Codends[J]. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science 2012, 44: 1-13.

[26] Akaike H. A new look at the statistical model identification [J]. IEEE Transanctions on Automatic Control, 1974, 19 (6): 716-722

[27] Efron B. Bootstrap methods: another look at the jackknife[J]. The Annals of Statistics, 1979, 7: 1-26.

[28] Yang B Z, Wan R. Estimation uncertainties of the size selectivity of trawl codends based on the double-bootstrapping technique[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2023, 30(9): 1134-1145. [杨炳忠, 万荣. 基于双重拔靴法拟合拖网网囊选择性的不确定性[J]. 中国水产科学, 2023, 30(9): 1134-1145.]

[29] Yang B, Herrmann B. Simple and effective: T90 codends improve size selectivity and catch efficiency compared with diamond-mesh codends for mantis shrimp (*Oratosquilla oratoria*) in demersal trawl fishery of the South China Sea[J]. Frontier in Marine Science, 2022, 9: 939269.

[30] Herrmann B, Krag L A, Krafft B A. Size selection of Antarctic krill (*Euphausia superba*) in a commercial codend and trawl body[J]. Fisheries Research, 2018, 207: 49-54.

[31] Herrmann B, Sitiaga M, Larsen R, et al. Effect of three different codend designs on the size selectivity of juvenile cod in the Barents Sea shrimp trawl fishery[J]. Fisheries Research, 2019, 219: 1-8.

[32] Yang B, Herrmann B, Yan L, et al. Size selectivity and catch efficiency of diamond-mesh codends in demersal trawl fishery for conger pike (*Muraenesox cinereus*) of the South China Sea[J]. Ocean and Coastal Management, 2021, 211: 105777.

[33] Cardinale M, Hjelm J. Size matters: Short term loss and long term gain in a size-selective fishery[J]. Marine Policy, 2012, 36: 903-906.

[34] Vasilakopoulos P, O'Neill F, Marshall CT. The unfulfilled potential of fisheries selectivity to promote sustainability[J]. Fish and Fisheries, 2016, 17: 399-416.

[35] Vasilakopoulos P, Jardim E, Konrad C, et al. Selectivity metrics for fisheries management and advice[J]. Fish and Fisheries, 2020, 21: 621-638.

[36] Tokai T, Shiode D, Sakai T, et al. Codend selectivity in the East China Sea of a trawl net with the legal minimum mesh size[J]. Fisheries Science, 2019, 85(1): 19-32.

[37] Chen P M. Optimum first capture standards of major capture species of the northern South China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 28(4): 393-400. [陈丕茂. 南海北部主要捕捞种类最适开捕规格研究[J]. 水产学报, 2004, 28(4): 393-400.]

[38] Zhang Z L, Ye S Z, Ye Q T. Study on Fisheries Biology of *Trichiurus nanhaiensis* in the Adjacent Waters of Taiwan Bank[J]. Journal of Fujian Fisheries, 1998, (3): 13-19. [张壮丽, 叶孙忠, 叶泉土. 台湾浅滩邻近海域南海带鱼渔业生物学研究[J]. 福建水产, 1998, (3): 13-19.]

[39] Kim H, Park J, Kwon D, et al. Maturation and spawning of largehead hairtail *Trichiurus japonicas* near Jeju Island, Korea[J]. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2020, 53: 1-8.

[40] Yuan F, Zhu W B, Wang Z M, et al. Optimum capture size of *Trichiurus japonicas* in the East China Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2023, 34(1): 242-248. [袁帆, 朱文斌, 王忠明, 等. 东海带鱼的最适可捕规格[J]. 应用生态学报, 2023, 34(1): 242-248.]

[41] Xu H X, Liu Z F, Zhou Y D. Variation of *Trichiurus haumela* productivity and recruitment in the East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(4): 322-327. [徐汉祥, 刘子藩, 周永东. 东海带鱼生殖和补充特征的变动[J]. 水产学报, 2003, 27(4): 322-327.]

[42] Sun P, Liang Z, Yu Y, et al. Trawl selectivity-induced evolution effects on age structure and size-at-age of largehead hairtail (*Trichiurus lepturus*) Linnaeus, 1758 in the East China Sea, China[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2015, 31: 657-664.

[43] Kennelly S, Broadhurst M. A review of bycatch reduction in demersal fish trawls[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2021, 31: 289-318.

Codend size selectivity of pair trawls with a large mesh-size in the forefront section for largehead hairtail in the South China Sea

YANG Bingzhong[1, 2], YAN Lei[1], LI Jie[1], WANG Teng[1], ZHANG Peng[1]

1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory of Open-Sea Fishery Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510300, China;
2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Bottom trawls with large mesh sizes in the forefront section are commonly used to target the largehead hairtail (*Trichiurus lepturus*), which is one of the most ecologically and economically important fish species in marine capture fisheries in China. In this study, the size selectivity of four diamond-mesh codends with mesh sizes of 30, 35, 40, and 45 mm was tested using the covered codend method in pair trawls with large mesh sizes at the forefront section of the South China Sea. The experimental codends were termed D30, D35, D40, and D45 according to their mesh sizes. Catch data were analyzed using the double-bootstrapping technique to account for uncertainties from both within- and between-haul variations, compare the size selectivity of tested codends, and estimate the exploitation pattern indicators for largehead hairtail. The results demonstrated that by increasing the mesh sizes of the codends, the 50% retention length (L50) of the largehead hairtail increased, whereas the capture probability and exploitation pattern indicators for undersized individuals decreased. For instance, the L50 was 12.22 cm for the D30 codend, and increased to 13.24 cm for the D45 codend. The retention proportion of undersized individuals was 57.10% for the D30 codend and decreased to 40.06% for the D45 codend. The differences in the L50 and exploitation pattern indicators between the tested codends were not statistically significant. Differences in the retention probability of undersized individuals in some length ranges between the codends were statistically significant. Considering that the mesh size used in trawling fisheries is usually small, often close to 30 mm, our results demonstrated that increasing the mesh size from 30 to 40 or 45 mm would improve size selectivity for the target species. The L50 values increased, whereas the retention probability of the undersized largehead hairtail decreased. However, the size selectivity of the codend with a mesh size of 40 mm (D40), currently regulated by the government, was poor for the target species under the management regulation scenarios of the minimum landing size (23.0 cm). Consequently, over 93% of the largehead hairtail were undersized and thus discarded. This finding suggests that more selectivity studies are needed to further improve the selective properties and achieve sustainable development of the bottom trawl fishery. Additionally, research on the minimum landing size for largehead hairtails is warranted to supplement the minimum mesh regulations in the South China Sea.

Key words: trawl; codend mesh; size selectivity; *Tridniurus lepturus*

Corresponding author: YANG Bingzhong. E-mail: yangbingzhong@scsfri.ac.cn