

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.19342

两种底拖网渔业资源调查船捕捞效率标准化分析

刘尊雷^{1,2}, 杨林林^{1,2}, 袁兴伟^{1,2}, 严利平^{1,2}, 张辉^{1,2}, 程家骅^{1,2}

1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090

2. 农业农村部东海渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090

摘要: 渔业资源科学调查是开展渔业资源状况评价、物种保护和管理等分析的重要数据来源, 当调查方式发生变化时, 维持数据的时间一致性至关重要。因此, 原位试验获取不同调查方式的捕捞效率校正因子(fishing power correction, FPC)成为资源状况评价的先决条件。本研究通过平行拖网对比试验分析了科学调查船“中渔科 211”(试验船)和生产性渔船“浙嵊渔 10201-10243”(标准船)在开展渔业资源调查时对不同种类或类群的渔获率差异。结果表明, 标准船和试验船平均渔获率分别为(47.27~1836.72) kg/nmile² 和(12.28~311.85) kg/nmile²。标准船主要种类为小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)和龙头鱼(*Harpodon nehereus*), 渔获率范围分别为(1.17~1113.26) kg/nmile² 和(0~565.39) kg/nmile²; 试验船主要种类为鳀(*Engraulis japonicas*)和黄鮟鱇(*Lophius litulon*), 渔获率范围分别为(0~277.59) kg/nmile² 和(0~125.24) kg/nmile²。2 种调查方式对不同种类/组的渔获率随深度变化趋势出现分化, 其中总渔获率、鱼类、银鲳(*Pampus argenteus*)、黄鮟鱇、短鄂齿鱼(*Champsodon snyderi*)、细条天竺鲷(*Apogonichthys lineatus*)、绿鳍鱼(*Chelidonichthys spinosus*)、大管鞭虾(*Solenocera melancho*)8 个种类/组表现为相似的变化趋势; 甲壳类、细点圆趾蟹(*Ovalipes punctatus*)、鳀、六丝钝尾虾虎鱼(*Amblychaetrichthys hexanema*)和虻鮋(*Erisphex pottii*)5 个种类/组变化趋势相反; 头足类、小黄鱼、龙头鱼在各深度变化具有异质性特征。这种变化与网口垂直扩张和所在水层位置有关。均值比和 Kappenman 方法估计的总渔获率 FPC 分别为 0.35 (95%置信区间为 0.24~0.61) 和 0.43 (95%置信区间为 0.27~0.70), 各种类渔获率均值比结果显示, FPC 变化范围在 0.03~2.61, 其中总渔获率、鱼类、头足类、小黄鱼和绿鳍鱼达到显著水平, 建议对上述种类的资源丰度指标年际变化趋势分析时进行数据校正。标准船以近底层种类为调查对象, 尤其在捕获经济种类方面表现出优良性能, 但对完整生态系统代表性较弱。试验船适合浅水区调查, 在深水区由于网口垂直扩张不足, 且网位存在上浮现象, 难以反映近底层生态系统。

关键词: 东海; 资源调查; 捕捞效率; 底拖网; 平行试验

中图分类号: S932

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)07-0834-12

渔业资源调查为物种保护和管理提供了重要的数据支撑^[1-5]。底拖网调查是国际渔业调查标准方式, 国际区域组织或国家在开展拖网渔业调查时从不同的层面对调查规程制定了规范, 如国际拖网调查标准化工作组长期致力于“维持调查过程一致性, 严控调查质量标准, 以满足不同航次调查数据的准确性和稳定性”^[6-7]。中国也相继颁布了国家标准和行业标准, 对调查程序提出规范

化建议^[8-9], 但并未涉及数据标准化过程。维持数据一致性的本质特征是保证调查可捕系数长期稳定。自 21 世纪以来, 中国在各海域开展了不同阶段的渔业资源调查, 但由于以渔业普查为主导的基础性资源调查并未开展, 这些调查工作主要是以科研项目为主导, 对渔业资源调查标准化缺少科学规划, 即使调查程序规范, 也会因质量控制过程环节缺失, 导致捕捞效率和可捕系数年际稳

收稿日期: 2019-11-22; 修订日期: 2020-01-08.

基金项目: 农业农村部财政专项(125C0505).

作者简介: 刘尊雷(1982-), 男, 副研究员, 从事渔业资源评估研究. E-mail: liuzl@ecsf.ac.cn

通信作者: 严利平, 研究员. E-mail: yanlp@ecsf.ac.cn

定性差,限制了资源调查数据的纵向分析应用。

调查船数据标准化需要科学的试验设计,通常有2种试验方案^[10],第一种是假定资源密度和环境条件具同质性特征,标准船和试验船在较小尺度范围内独立拖网作业,这种方法为随机区组设计;或者是完全异质性的时空环境下,控制时间、空间、环境、生物等多种潜在影响因素为偏回归变量,分析主控因素变化。这种方案多见于多船队联合调查或渔业生产性捕捞等事后标准化情形。如美国、俄罗斯和日本在白令海采用独立的调查船开展联合拖网调查^[11],欧洲各国在地中海、北海等联合调查^[12-13],国际区域组织的渔业监测统计项目等。然而,由于调查船、网具、作业时间、作业海域等方面有所差异,需要考虑各个因素的交互作用,这就要求较高的试验网次数。一般认为,试验网次数随异质性因素增大而增加,如Ehrich^[14]利用3艘专业调查船对北海2种鳕鱼比较捕捞试验,共开展了178有效网次试验;Walter Herwig和Walter Herwig III比较时有79网次^[15];美国东北渔业中心在分析拖网网板变更对渔获率影响时开展了288网次试验^[16]。Pelle-tier^[17]认为独立拖网设计并不能解释所有的变异来源,并且无处不在的空间异质性会增大渔获率变化,从而降低转换系数估算精度和统计检验效力。第二种方案是平行拖网试验,即标准船和试验船在近距离空间内同时、同航向平行拖曳,这种方案会最大程度降低资源在空间和时间上的变异。这种方案在网具标准化试验中应用最广^[12-13, 18]。尽管试验设计存在差异,但在数据标准化方法上多聚焦于捕捞效率校正(fishing power correction, FPC),其计算过程均是基于统计方法获得,如Wilderbuer等^[19]聚焦12个主要经济种类,采用均值、方差分析、线性回归等方法,比较了不同资源调查船的捕捞效率;Troncoso等^[13]采用7种统计方法校正了西班牙新型和原有调查船的捕捞效率。而国内基于科学调查的海洋渔业资源捕捞效率标准化研究尚未见报道。

渔业生产性调查船和专业性调查船是我国渔业资源调查普遍采用的方式。当前,各海域调查常存在调查船时间-空间的更替现象,严重干扰

了调查效率的稳定性。为了维系渔业资源调查资料的连贯性和系统性,本研究在东海北部海域首次利用专业调查船(“中渔科211”,试验船)和渔业生产性调查船(浙嵊渔10201-10243,标准船)开展了平行拖网试验,分析了2种调查方式对各生态类型以及种类间的渔获率差异,并探索水深梯度变化对渔获率的影响程度,旨在量化两种调查方式对不同渔业种群的捕捞效率,探索科学调查数据的标准化方案。

1 材料与方法

1.1 试验设计

中国水产科学研究院东海水产研究所自2000年以来通过浙嵊渔10201-10243等双船底拖网开展渔业资源调查,长期的稳定调查为资源丰度的年际变化分析提供了可靠的数据保障。该船为渔业生产用船,船长32.4 m,吨位133 t,功率为199 kW,调查网具的网口规格为96目×4 m。2018年春季,该单位首次利用专业调查船“中渔科211”在东海区北部进行渔业资源和栖息环境调查。中渔科211为单拖作业类型,船长42.8 m,吨位398 t,功率为634 kW,调查网具的网口规格为100目×3 m,上纲72.24 m,下纲82.44 m。调查用船和网具参数特征见表1。

为定量分析试验船和标准船捕捞效率差异,选取资源量丰富的舟山渔场和舟外渔场作为试验海域,计划开展16个站位的定点平行拖网试验(图1),以降低资源密度和环境异质性对试验结果的影响。其中2号站由于周边流刺网作业无法完成调查,实际完成对比试验15站。调查海域水深范围44~100 m,较大的深度区间保证了捕获不同栖息生境种类的可能性,并能够识别目标种类的捕捞效率是否随深度和密度变化而保持稳定。试验期间,两船在相同站位同时放网,同向拖曳,船位相距0.15~0.2 nmile,拖网时间为1 h。但由于捕捞方式不同,两船无法固定相同拖速,标准船拖速约为2 kn,对照船拖速约为3.5 kn,因此,通过拖曳距离计算单位平方海里渔获量作为渔获率指标。渔获物取样程序依据行业标准《海洋渔业资源调查规范 SCT 9403-2012》执行。渔获样

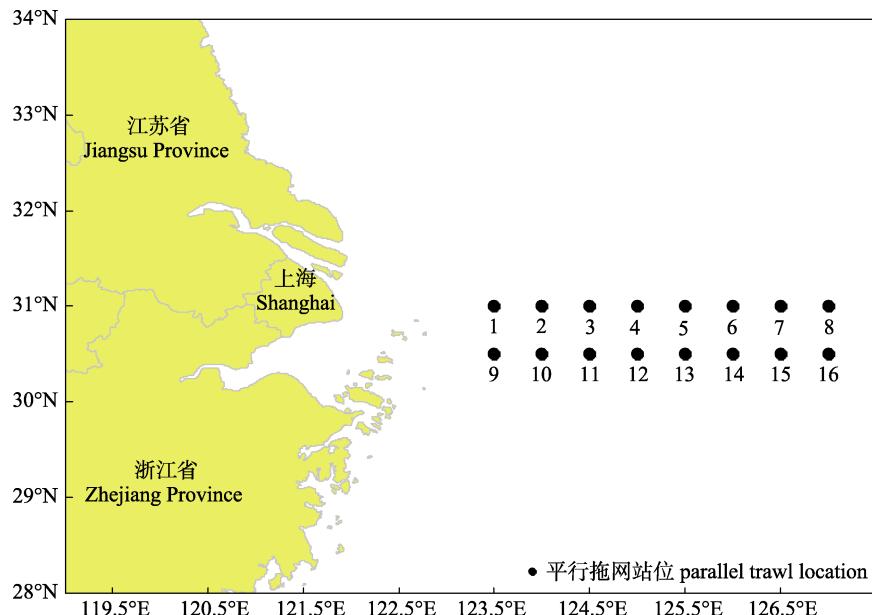


图 1 平行拖网试验调查站位示意图
Fig. 1 Investigation stations of parallel hauls experiments

表 1 标准船和试验船船只和网具参数

Tab. 1 Comparison of vessels and gear types between the standard vessel and the experimental vessel

类型 type	参数 parameter	标准船 standard vessel	试验船 experimental vessel
调查船 vessel	作业方式 operating type	双拖 paired trawl	单拖 single trawl
	总长/m total length	32.4	42.8
	型宽/m molded breadth	6.3	8
	型深/m molded depth	2.85	5.2
	总吨位/t gross tonnage	133	398
网具 gear	主机功率/kW engine power	199	634
	网口宽度/m mouth width	35	25
	网口高度/m mouth height	25	10-15
	网口周长/m circular length of net mouth	384	300
	网口规格 mouth configuration	96 目×4 m	100 目×3 m
	网囊网目长度/mm cod-end size	20	20
	拖速/kn speed	1.8-2.3	3-4
	站位数 station number	15	15

品带回实验室分析, 鉴定到种类分类单元, 并计数和称重。初步统计分析发现, 两种调查方式渔获种类中共同种类 66 种, 但同一种类出现站位数均超过 8 个的较少, 仅有小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、银鲳(*Pampus argenteus*)、短鳄齿鱼

(*Champsodon snyderi*)、黄鮟鱇(*Lophius litulon*)、六丝钝尾虾虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)、龙头鱼(*Harpodon nehereus*)、绿鳍鱼(*Chelidonichthys spinosus*)、虹鮨(*Erisphex pottii*)、鳀(*Engraulis japonicas*)、细条天竺鲷(*Apogonichthys lineatus*)、细点圆趾蟹(*Ovalipes punctatus*)、大管鞭虾(*Solenocera melantha*) 12 种, 分别占标准船和试验船总渔获量的 84.3% 和 73.4%; 此外, 将总渔获率、鱼类、甲壳类和头足类作为渔获物分析目标, 共选择 16 种类/组进行后续标准化分析。

1.2 分析方法

1.2.1 渔获率指标 拖网过程受到风和海流影响, 拖曳速度存在小幅波动, 标准船和试验船网口宽度也不相同, 因此, 将拖曳距离替代拖曳时间, 结合网口宽度, 通过扫海面积计算单位平方海里渔获量^[8], 并作为渔获率指标。计算公式如下:

$$CPUE_i = \frac{C_i}{W_i \times d_i}$$

式中, CPUE 为单位平方海里渔获率, c 为每站位渔获量, W 为网口宽度, d 为每站位拖曳距离, i 为站位。

1.2.2 捕捞效率校正 捕捞效率是评价船-网联合捕捞能力的测度指标, 旨在解决同一项目多船

-网联合调查或调查过程中船-网发生变化情形时的渔获率标准化问题。鉴于绝对捕捞效率难以量化,捕捞效率常被定义为在相同位置和时间,以标准船-网为基准,通过拖网比较试验获得的相对参考值。应用均值比和 Kappenman 两种方法估算试验船和标准船捕捞种类的 FPC^[13, 20]。均值比 FPC 构建方法如下:假定每船渔获率期望值与资源丰度呈正比,则 $E(CPUE_{mi})=q_m \times N_i$, 式中, CPUE_{mi} 为 m 船在 i 站位的渔获率; q_m 为可捕系数; N_i 为资源丰度,由于标准船和试验船为平行拖网作业,可假定同一站位遭遇的资源丰度相同。从上式可知,捕捞效率差异是由 q_m 不同引起的,因此,均值比可通过试验船平均渔获率和标准船平均渔获率比值计算,公式如下:

$$FPC = \frac{\sum_{i=1}^n CPUE_{yij}}{\sum_{i=1}^n CPUE_{xij}} \cdot \frac{n}{n}$$

式中: FPC 为捕捞效率校正因子; n 为试验船和标准船的平行站位数; CPUE_{yij} 为试验船捕捞的 j 种类在第 i 站位渔获率; CPUE_{xij} 为标准船捕捞的 j 种类在第 i 站位渔获率。

Kappenman 方法并不需要平行拖网试验,其假定两种渔获率变量来自未知的同一分布类型,只是各自分布的比例参数存在差异,通过估算比例参数的比值来获得 FPC^[20]。但该方法要求渔获率不能存在零值,因此,在平行拖网试验中,当调查船在任一网次出现零值时,则删除两船在相应网次的数值,故数据分析时仅包括所有正值部分。具体计算过程参见文献[20]。Kappenman 方法具有稳健性和对极高值低敏感性的特点,在捕捞效率校正方面有着广泛的应用^[11, 21]。

FPC 置信区间(confidence interval, CI)通过 bootstrap 方法计算^[22], 每个种类按站号配对放回式重复抽样 200 次, 估算 FPC, 分别取 2.5% 和 97.5% 分位数为 95% 置信区间下限和上限。根据均值比和 Kappenman 置信区间大小最终确定 FPC。

由于渔获率呈偏倚分布,且部分种类存在较

多的零值,对原始数据和正值数据对数转换后分别进行 K-S 检验,仍有部分种类无法满足正态分布假设,因此采用非参数方法 Wilcoxon 秩和检验比较试验船和标准船对不同种类的渔获率差异,并和 95% 置信区间检验方法进行比较,以降低检验方法引起的评价结果不确定性问题。本次试验为两船在同一站位平行调查,故采用配对 Wilcoxon 秩和检验。试验船和标准船渔获率在不同水深梯度的差异通过 Kruskal-Wallis 秩和检验完成。调查方式和水深交互作用对渔获率的影响通过两因素稳健方差分析完成^[23]。

2 结果与分析

2.1 标准船和试验船渔获率比较

15 次平行拖网试验共捕获种类 102 种,标准船和试验船分别为 84 种和 74 种,共有种类 66 种,各站位种类数无显著差异($P>0.05$)。根据扫海面积估计各站位单位面积渔获量,标准船总渔获率范围为 (47.27~1836.72) kg/nmile², 中位值为 209.78 kg/nmile²; 试验船渔获率范围为 (12.28~311.85) kg/nmile², 中位值为 146.67 kg/nmile²。从图 2 可知,在总渔获物中,鱼类对总渔获率的贡献最高,标准船和试验船的比例均达到 70% 以上。从各种类生物量上,标准船相对较高的有小黄鱼、龙头鱼,渔获率范围分别为 (1.17~1113.26) kg/nmile² 和 (0~565.39) kg/nmile²; 试验船对各种类的渔获率均处于较低水平,相对较高的种类有鳀和黄鮟鱇,渔获率范围分别为 (0~277.59) kg/nmile²、(0~125.24) kg/nmile²。除黄鮟鱇、短鄂齿鱼、六丝钝尾虾虎鱼、鳀 4 个种类,标准船对其他种类的渔获率均高于试验船;同时,由于不同站位渔业资源分布不均,各站位的渔获率波动较大,标准船和试验船总渔获率变异系数分别为 121% 和 66.3%,标准船表现出更高的空间变异。

试验船和标准船渔获率非参数统计检验结果见表 2, 16 个种类或类群中, 5 种达到显著水平($P<0.05$), 分别为总渔获率、鱼类、小黄鱼、龙头鱼和绿鳍鱼,其 FPC 均远小于 1, 即试验船对该

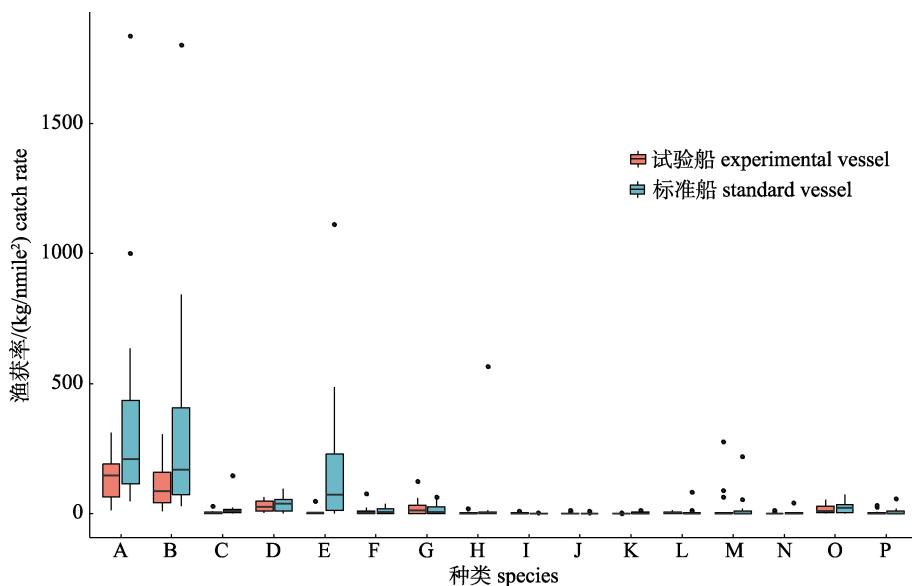


图 2 标准船和试验船主要种类渔获率的比较

A: 总渔获率; B: 鱼类; C: 头足类; D: 甲壳类; E: 小黄鱼; F: 银鲳; G: 黄鮟鱇; H: 龙头鱼; I: 短鄂齿鱼;

J: 六丝钝尾虾虎鱼; K: 绿鳍鱼; L: 虾虎; M: 鳕; N: 细条天竺鲷; O: 细点圆趾蟹; P: 大管鞭虾。

Fig. 2 Catch rate comparisons for the major capture species between the standard vessel and the experimental vessel

A: total catch rate; B: fish; C: cephalopoda; D: crustacea; E: *Larimichthys polyactis*; F: *Pampus argenteus*; G: *Lophius litulon*; H: *Harpodon nehereus*; I: *Champsodon snyderi*; J: *Amblychaeturichthys hexanema*; K: *Chelidonichthys spinosus*; L: *Erisphex pottii*; M: *Engraulis japonicas*; N: *Apogonichthys lineatus*; O: *Ovalipes punctatus*; P: *Solenocera melancho*.

表 2 标准船和试验船的渔获率配对

Wilcoxon 秩和检验结果

Tab. 2 Examining the difference in catch rate between the standard vessel and the experimental vessel using Wilcoxon rank sum test

种类 species	配对网次 paired hauls	渔获率差值 difference of catch rate	P
总渔获率 total catch rate	15	-253.70	0.003
鱼类 fish	15	-233.48	0.007
头足类 cephalopoda	15	-13.36	0.07
甲壳类 crustacea	15	-6.87	0.6
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	15	-190.10	<0.001
银鲳 <i>Pampus argenteus</i>	14	-0.54	0.53
黄鮟鱇 <i>Lophius litulon</i>	14	7.23	0.41
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	14	-37.64	0.02
短鄂齿鱼 <i>Champsodon snyderi</i>	13	0.96	0.26
六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	12	0.37	0.97
绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys spinosus</i>	10	-2.42	0.05
虾虎 <i>Erisphex pottii</i>	14	-3.72	0.53
鳀 <i>Engraulis japonicas</i>	12	7.83	0.97
细条天竺鲷 <i>Apogonichthys lineatus</i>	10	-2.05	0.76
细点圆趾蟹 <i>Ovalipes punctatus</i>	15	-6.57	0.33
大管鞭虾 <i>Solenocera melancho</i>	11	-2.49	0.50

种类的捕捞效率在较大程度上低于标准船；试验船对头足类渔获率为标准船的 28%，配对检验结果近似边际显著($P=0.07$)；甲壳类、六丝钝尾虾虎鱼、鳀、细条天竺鲷、虾虎、银鲳、黄鮟鱇、大管鞭虾等种类的 P 值较高，远远偏离显著性水平。

表 3 分析了两种调查方式的渔获率随水深梯度变化。Kruskal Wallis 秩和检验结果表明：在 0.05 水平下，仅有个别种类达到显著差异；但在 0.1 水平时，试验船中龙头鱼、短鄂齿鱼、绿鳍鱼和细条天竺鲷存在显著差异；标准船中小黄鱼、龙头鱼、短鄂齿鱼、绿鳍鱼、鳀、细条天竺鲷、大管鞭虾存在显著差异。在上述种类中，标准船种类不仅包括了试验船种类，同时还揭示了小黄鱼、鳀和大管鞭虾 3 个种类渔获率具有随水深梯度变化的趋势。稳健方差分析结果显示，调查方式和水深梯度的交互作用不显著，即试验船和标准船在不同水深层具有协同效应，这说明分析调查方式或水深主效应作用是合理的。尽管 Kruskal Wallis 秩和检验和稳健方差分析提供了渔获率随水深变化的统计学结果，但由于非参数统计方法存在着统计功效降低的缺陷，两种调查方式和水

表3 深度对标准船和试验船主要种类渔获率的影响

Tab. 3 The effects of depth on the catch rate of the standard vessel and the experimental vessel

种类 species	试验船 experimental vessel		标准船 standard vessel		船: 水深交互 vessel: depth interaction
	χ^2	P	χ^2	P	
总渔获率 total catch rate	2.94	0.230	0.88	0.645	0.758
鱼类 fish	3.15	0.207	1.60	0.449	0.646
头足类 cephalopoda	0.95	0.621	2.23	0.328	0.706
甲壳类 crustacea	0.68	0.712	3.43	0.180	0.194
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	0.07	0.966	4.95	0.084	0.530
银鲳 <i>Pampus argenteus</i>	1.39	0.499	3.32	0.191	0.312
黄鮟鱇 <i>Lophius litulon</i>	1.76	0.415	3.52	0.172	0.550
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	5.33	0.070	5.74	0.057	0.528
短鳄齿鱼 <i>Champsodon snyderi</i>	9.00	0.011	9.70	0.008	0.520
六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	1.60	0.450	2.77	0.251	0.856
绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys spinosus</i>	5.91	0.052	6.23	0.044	0.402
虹鮨 <i>Erisphex pottii</i>	3.87	0.145	1.56	0.458	0.200
鳀 <i>Engraulis japonicas</i>	1.18	0.553	5.58	0.061	0.804
细条天竺鲷 <i>Apogonichthys lineatus</i>	11.20	0.004	5.49	0.064	0.802
细点圆趾蟹 <i>Ovalipes punctatus</i>	2.94	0.230	0.44	0.803	0.224
大管鞭虾 <i>Solenocera melancho</i>	3.36	0.187	12.91	0.002	0.930

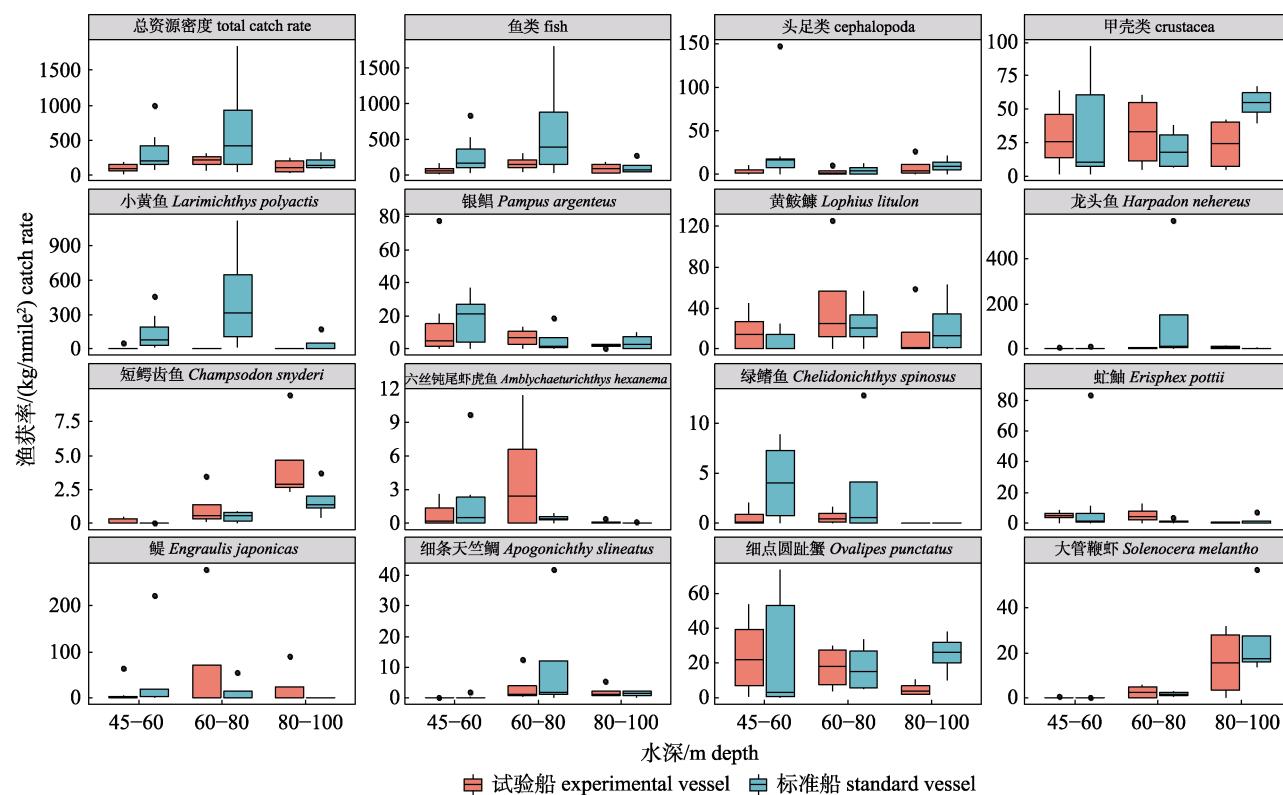


图3 标准船和试验船主要种类渔获率随深度的变化

Fig. 3 Changes of catch rate with depth for the major capture species between the standard vessel and the experimental vessel

深的交互作用未能充分解释。本文根据渔获率和水深梯度变化关系开展进一步分析。从图 3 可知, 标准船和试验船对渔获种类或类群的渔获率随深度增加而呈现不同的变化状态, 既有趋同也有分化。总渔获率、鱼类、银鲳、黄鮟鱇、短鄂齿鱼、细条天竺鲷、绿鳍鱼、大管鞭虾在 2 种调查方式的渔获率变化趋势基本一致, 说明 2 种调查方式对这些种类均能够反映其空间变化。在 45~60 m 水层, 2 种调查方式对甲壳类的渔获率基本相近, 随着水深增加, 标准船捕捞效率逐渐下降, 试验船则略有增加, 在 80~100 m 水层, 标准船捕捞效率最高, 试验船反而最低, 两者渔获率随深度呈相反的变化趋势。对于一些小型种类, 如鳀、六丝钝尾虾虎鱼、虻鮋, 渔获率也表现出随深度而出现异质性的变化。小黄鱼和龙头鱼是标准船的优势渔获物, 标准船在中等水层的捕捞效率最高, 而试验船在 3 个水层均处于较低水平; 尽管龙头鱼渔获率的水深梯度变化具有统计学显著性 ($P<0.1$), 但渔获率和变异系数远低于标准船, 渔业资源空间变化的解读性较弱。

2.2 捕捞效率校正

16 个种类或类组的 FPC 和 95% 置信区间列于表 4。当 FPC 低于 1, 表明试验船捕捞效率低于标准船, 高于 1 时则相反。根据均值比较结果, FPC 变化范围在 0.03~2.61, 小黄鱼最小, 短鄂齿鱼最大。对于大部分种类, 试验船的捕捞效率低于标准船, 小于 1 的种类或类组共计 12 种, 分别为总渔获率、鱼类、头足类、甲壳类、小黄鱼、银鲳、龙头鱼、绿鳍鱼、虻鮋、细条天竺鲷、细点圆趾蟹和大管鞭虾; 大于 1 的种类或类组有 4 种, 分别为黄鮟鱇、短鄂齿鱼、六丝钝尾虾虎鱼和鳀。Kappenman 分析结果与均值比较略有不同, 捕捞效率变化范围在 0.05~2.07, 最小值和最大值对应种类与均值比较结果一致。小于 1 的种类或类组有 12 种, 分别为总渔获率、鱼类、头足类、甲壳类、小黄鱼、银鲳、黄鮟鱇、龙头鱼、绿鳍鱼、鳀、细条天竺鲷、细点圆趾蟹; 大于 1 的种类或类组仅有短鄂齿鱼、六丝钝尾虾虎鱼、虻鮋和大管鞭虾 4 种。2 种估计方法中, 黄鮟鱇、虻鮋、鳀和大管鞭虾的 FPC 均发生方向性变化。

95% 置信区间与 1 的包含关系用作 FPC 统计显著性的检验标准^[17]。均值比较和 Kappenman 分析结果显示, 仅有 5 种 95% 置信区间不包含 1, 分别为总渔获率、鱼类、头足类、小黄鱼和绿鳍鱼; 短鄂齿鱼在简单均值比较方法中也不含 1, 表明试验船和标准船的捕捞效率对上述种类具有统计显著性。然而, 试验船对龙头鱼、虻鮋、细条天竺鲷的渔获率远低于标准船, 但 FPC 未达到显著水平的现象可能和样本量过少有关, 样本量不足引起个别较高渔获率网次的权重加大, 方差估计偏高, 最终导致较宽的置信区间范围。

3 讨论

3.1 试验设计和校正标准的选择

多船舶调查或不同网具调查时, 解决捕捞效率差异而进行 CPUE 标准化是渔业资源研究的前提。若不考虑捕捞效率差异, 捕捞效率引起的变数可能会被错误解释为资源丰度变化^[24-25], 以此为基础的管理制度、标准规范、政策规划等将缺乏理论支撑^[26]。校正试验设计时, 应最大程度降低资源的时空变化以及水文、深度等非生物要素对捕捞效率的影响。本研究采用平行拖网试验方案, 能够最大程度降低空间和时间变异, 在此条件下, 非处理因素可忽略不计, 渔获率差异主要是由调查船和网具因素导致。这种方法所需要的有效网次数低, 应用也最为广泛, 如美国为同化国家和地区的渔业资源调查数据, 利用 33 次平行拖网对不同渔船和网具调查结果进行标准化^[11]; Fryer 等^[27]对新旧调查船 Scotia II 和 Scotia III 校正时开展了 24 次平行网次试验, 但从均值的置信区间宽度上, 由于有效样本数较少, 转换系数的估计精度较低。本次试验船和标准船平行拖网试验仅有 15 站, 尽管试验海域选择了渔业资源量较高的舟山渔场和舟外渔场, 但是仅有少数种类的有效网次超过 10 站以上。因此, 即使试验船和标准船对小黄鱼、龙头鱼、绿鳍鱼、短鄂齿鱼等种类的渔获率差异明显, 置信区间仍未达到显著水平。这可能是由于当渔获量较低或零值较多时, 检验统计功效下降, 该站位的渔获率在估计转换系数时并不能提供足够的信息, 因此无法

表 4 主要种类捕捞效率校正因子
Tab. 4 Fishing power correction factors for the major capture species

种类 species	均值比 mean ratio		Kappenman	
	FPC	95%CI	FPC	95%CI
总渔获率 total catch rate	0.35	0.24–0.61	0.43	0.27–0.70
鱼类 fish	0.31	0.21–0.58	0.44	0.25–0.71
头足类 cephalopoda	0.28	0.12–0.93	0.29	0.13–0.69
甲壳类 crustacea	0.81	0.42–1.54	0.90	0.42–1.91
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	0.03	0.01–0.07	0.05	0.05–0.10
银鲳 <i>Pampus argenteus</i>	0.95	0.29–2.04	0.49	0.19–1.24
黄鮟鱇 <i>Lophius litulon</i>	1.45	0.57–3.01	0.57	0.10–2.42
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	0.08	0.02–1.87	0.38	0.06–1.93
短鳍带鱼 <i>Champsodon snyderi</i>	2.61	1.78–4.13	2.07	0.94–4.39
六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaetrichthys hexanema</i>	1.33	0.25–8.59	1.80	0.08–12.68
绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys spinosus</i>	0.15	0.05–0.35	0.11	0.05–0.40
虹鱥 <i>Erisphex pottii</i>	0.50	0.18–3.45	1.72	0.58–4.68
鳀 <i>Engraulis japonicas</i>	1.37	0.05–6.8	0.79	0.10–5.88
细条天竺鲷 <i>Apogonichthys lineatus</i>	0.43	0.07–3.49	0.60	0.05–2.12
细点圆趾蟹 <i>Ovalipes punctatus</i>	0.72	0.33–1.56	0.52	0.24–1.19
大管鞭虾 <i>Solenocera melancho</i>	0.67	0.27–1.65	1.03	0.34–3.85

充分诊断调查方式之间的差异^[17]。Byrne 等^[28]对 NOAA R/Vs Albatross IV 和 Delaware II 对比分析发现了同样的问题, 即样本量不足导致部分种类无法得出渔获率差异的结论。Ehrich 等^[15]认为大量低渔获量甚至是零渔获量引起的无效网次可能与新调查船初次操作缺乏经验有关。因此, 为增加统计功效, 仍需要增加更多的有效网次, 有必要进一步实施试验船和标准船调查结果的标准化试验。

95%置信区间与 1 的包含关系可以被用作是否对 CPUE 应用校正因子的判别标准^[17, 19]。然而, Wilderbuer 等^[19]指出, 95%置信区间作为决策标准具有一定的缺陷, FPC 估计过程并不准确, 在大多数情况下, 即使渔获率存在差异, 但相对较低的检验功效使得 FPC 的置信区间仍表现出高度的变化范围, 导致做出无需校正的结论^[11, 29], 本文对龙头鱼、细条天竺鲷的分析结果也存在同样问题; 两种显著性检验方法比较, 显著性种类中共同种有 4 种, 龙头鱼仅在非参数检验分析方法中显著, 这与该种类较高的渔获率波动和较低的出现率有关, 龙头鱼在试验船和标准船出现率分别为 10 站和 11 站, 但变异系数达到 256%, 在所有种类中最高, 较小的自由度和较高的方差导致显

著性下降。在采用 FPC 对物种丰度进行校正时, 物种丰度的变化将异常敏感, 这就需要对 FPC 的选择和确定过程极为谨慎。Monro^[29]指出在数据转换过程中, 误差通常也会随之变化, 因此在估计均值时降低总体误差应该作为捕捞效率校正的标准。在此条件下, 当数据转换后的总体误差增大时, 即使捕捞效率达到统计显著水平, 也并不需要进行捕捞效率校正, 反之亦然。美国对阿拉斯加和伊利湖渔业资源调查是否进行标准化时均采用了这种决策方法^[11, 26]。在本研究中, 由于样本量较少, 难以通过置信区间和均方误方法对试验船和标准船实施渔获率标准化, 而非参数检验分析能够确定总渔获率、鱼类、小黄鱼、龙头鱼和绿鳍鱼具统计显著性, 是不符合参数检验方法假设时的一种补充方法。鉴于其他种类暂时无法得到是否标准化的结论, 仍需要通过增加试验网次进一步确定。本研究中 Kappenman 方法在方差估计上较均值比没有明显提升, 而均值比具有直观和易计算的特点^[30], 因此本研究在标准化时采用了均值比方法。但是根据其他研究^[19], 当平行拖网的有效网次高于 50, 或采用了非平行拖网进行校正试验, 可以优先选择 Kappenman 估计 FPC。

3.2 试验船和标准船捕捞效率分析

两种调查方式的捕捞能力对不同种类的偏差并不一致, 在 12 个种类中, 试验船对 8 个种类的捕捞效率低于标准船, 小黄鱼、龙头鱼相对标准船的捕捞效率不到 10%; 绿鳍鱼、虹鮋、细条天竺鲷低于 50%; 银鲳基本持平; 而对于黄鮟鱇、短鳄齿鱼、六丝钝尾虾虎鱼和鳀, 试验船捕捞效率高于标准船 30%以上。调查船型、网具类型、拖速、技术和经验的不一致, 均可能造成渔获种类和捕捞效率等存在差异, 这种差异既可能对渔获率产生累积作用, 也可能是消减影响, 考虑到本次试验仅是对渔获率标准化以获得校正因子, 并没有分解上述因素的不同影响过程和结果。但是从拖速上, 试验船拖速在 3~4 nmile/h, 高于标准船的 1.8~2.3 nmile/h, 通常较高的速度会较大幅度上降低目标种类和非目标种类的逃逸能力, 从而获得更高的渔获率^[24], 这与本试验结果相反。从网具设计上, 为适应砂、石等硬质海底并使底拖网下纲和腹部能紧贴海底, 试验船配备较重的链式下纲, 能够沉降到海底软泥底部, 因此对黄鮟鱇、短鳄齿鱼等具有明显贴底种类具有较好的捕捞性能; 在生态类群种, 大多数虾蟹类喜营底栖活动, 试验船对甲壳类的捕捞效率与标准船基本持平也与此有关。与此相比, 小黄鱼、龙头鱼、绿鳍鱼在试验船中表现出最低的捕捞效率, 可能与网口没有充分扩张有关。试验船网具配置了较重的网板和沉子纲, 浮力配比较小, 导致网口垂直扩张高度受到限制, 在后期调查时进一步调整了浮力和沉子纲的适配性, 使网口扩张有所提升, 但较快的拖曳速度抑制了网口的垂直扩张, 从而严重影响到网衣的几何性能和可捕能力; 此外, 与双拖网曳纲牵引网袖方式不同, 单拖调查需要网板实现网口的水平扩张, 而网板中背部会形成连续不断的涡流区^[31], 虽然本试验所采用的网板在较大幅度上提高了网板水动力效率, 涡流区水流的扰动和搅起的泥浆会拦截游泳能力较弱的小型鱼类和虾蟹类, 同时水流的刺激也会使游泳能力强的鱼类预先察觉而逃离。标准船的拖曳速度低于试验船, 但低速有利于网口的充分扩张, 增加了扫海深度, 总渔获率也相对较高。

标准船和试验船对捕捞种类的渔获率在深度上缺乏一致性, 这一方面与调查网具捕捞效率较低有关, 如在标准船调查中, 总渔获率、鱼类、小黄鱼、龙头鱼等均在中等水层达到最高的渔获率, 但试验船对该种类的渔获率始终处于较低水平, 说明其可捕系数与资源丰度没有形成稳定的相关性。另一方面, 对于一些小型种类, 2 种调查方式的渔获率随深度变化并不一致, 如鳀、六丝钝尾虾虎鱼、虹鮋等。从试验船捕捞结果, 中上层种类鳀在 80~100 m 水层的渔获率高于 45~60 m 水层, 龙头鱼表现出相似的变化趋势, 反映出试验船在较深水层的网口位置向中上水层偏移; 相反, 甲壳类、细点圆趾蟹、黄鮟鱇等典型底层鱼类的渔获率在 80~100 m 水层呈现下降的趋势也证明了这种可能性(标准船的渔获率在 80~100m 水层呈上升态势); 大管鞭虾渔获率从浅水向深水逐渐增加, 主要原因为大管鞭虾栖息于江外渔场等较深的砂质海域, 中浅水海域资源丰度稀少, 但由于试验船的网口在深水层上浮, 导致增长幅度低于标准船。此外, 两种调查方式的渔获率随水层相异变化的现象也会受到其他因素的影响, 尤其是资源丰度较低的种类。首先, 尽管调查船距离极为接近, 每种网具遭遇到鱼群的丰度可能并不完全一致, 这就意味着 2 种网具对捕捞对象遭遇概率不同。由于小尺度空间异质性的研究较少, 还需进一步论证这种情况的真实性; 其次, 2 种调查方式捕捞效率差异也可能受到来自空间分布变化引起的随机变化的干扰。

两种调查方式的渔获物结构存在显著差异, 标准船以近底层种类为调查对象, 尤其在捕获经济种类方面表现出优良性能, 但由于逃逸了较多的小型鱼类, 对完整生态系统代表性较弱。试验船目标种类主要为贴底习性物种, 适宜捕获游速较慢的虾蟹类、黄鮟鱇等种类, 对小型鱼类也有较高的捕捞效率; 但由于网口垂直扩张不足, 仅适用于浅水海域渔业资源调查。针对存在的问题, 建议对试验船网具进一步优化调整, 如增加网口高度并使之充分扩张; 提高变水层能力并维持所在水层稳定性, 使之适合不同海域或目标物种的调查需求。同时, 为获得更为科学和严谨的调查

结果,今后的渔业资源校正仍需要进一步完善试验设计,以完成调查网具、作业程序在不同海域、年际间的标准化。如针对国家基础性渔业资源普查,需要在不同海域和不同季节开展全面的对照研究;当调查对象为特定目标群体时,要充分考虑到垂直或水平洄游、昼夜、季节变化、个体大小对FPC的影响,以实现CPUE数据的有效转换。

致谢:感谢马萨诸塞州海洋渔业处Nelso G A博士在文章撰写中给予帮助!

参考文献:

- [1] Miller T J. A comparison of hierarchical models for relative catch efficiency based on paired-gear data for US Northwest Atlantic fish stocks[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2013, 70(9): 1306-1316.
- [2] Geng Y L, Zhang C L, Han D Y, et al. Estimation of growth parameters of *Oratosquilla oratoria* based on fishery-independent and -dependent data collected from the coast of Shandong Province[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(4): 756-764. [耿玉玲, 张崇良, 韩东燕, 等. 基于科学调查与渔业生产数据的山东近海口虾蛄生长参数估算[J]. 中国水产科学, 2019, 26(4): 756-764.]
- [3] Yan L P, Liu Z L, Jin Y, et al. Effects of prolonging the trawl net summer fishing moratorium period in the East China Sea on the conservation of fishery resources[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(1): 118-123. [严利平, 刘尊雷, 金艳, 等. 延长拖网伏季休渔期的渔业资源养护效应[J]. 中国水产科学, 2019, 26(1): 118-123.]
- [4] Liu Z L, Yuan X W, Yang L L, et al. Stock assessment and management strategies for small yellow croaker in the East China Sea based on data-limited assessment models[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(4): 621-635. [刘尊雷, 袁兴伟, 杨林林, 等. 有限数据渔业种群资源评估与管理——以小黄鱼为例[J]. 中国水产科学, 2019, 26(4): 621-635.]
- [5] Yan L P, Liu Z L, Jin Y, et al. Effects of prolonging summer fishing moratorium in the East China Sea on the increment of fishery resources[J]. Marine Fisheries, 2019, 41(5): 513-519. [严利平, 刘尊雷, 金艳, 等. 东海区延长伏季休渔期渔业资源增殖效果分析[J]. 海洋渔业, 2019, 41(5): 513-519.]
- [6] Stauffer G. NOAA protocols for groundfish bottom trawl surveys of the nation's fishery resources[R]. NOAA Technical Memorandum, NMFS-SPO-65, 2004.
- [7] ICES. Manual for the international bottom trawl surveys (revision IX)[R]. The International Bottom Trawl Survey Working Group, Series of ICES Survey Protocols SISP 10—IBTS IX, 2015.
- [8] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Specifications for oceanographic survey—Part 6: Marine biological survey, GB/T 12763.6—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007: 56-62. [中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋调查规范, 第6部分: 海洋生物调查 GB/T 12763.6—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 56-62.]
- [9] Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Technical specification for marine fishery resources survey, SC/T 9403—2012[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012: 2-8. [中华人民共和国农业部. 海洋渔业资源调查规范 SC/T 9403—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 2-8.]
- [10] Bagley N W, Horn P L, Hurst R J, et al. A review of current international approaches to standardization and calibration in trawl survey time series[R]. New Zealand Fisheries Assessment Report, 2015: 46.
- [11] von Szalay P G, Brown E. Trawl comparisons of fishing power differences and their applicability to national marine fisheries service and Alaska department of fish and game trawl survey gear[J]. Alaska Fishery Research Bulletin, 2001, 8(2): 85-95.
- [12] Oeberst R, Grygiel W. Estimates of the fishing power of bottom trawls applied in Baltic fish surveys[J]. Bulletin of the Sea Fisheries Institute, 2004, 161(1): 29-41.
- [13] Troncoso D G, Paz X. Testing methods for estimating the factor power correction obtained from the comparative fishing trial: C/V Playa de Menduíña Versus R/V Vizconde de Eza[R]. NAFO SCR Doc. 03/5. Serial No. 44811.
- [14] Ehrich S. Comparative fishing experiments by research trawlers for cod and haddock in the North Sea[J]. ICES Journal of Marine Science, 1991, 47(3): 275-283.
- [15] Ehrich S, Dahm E, Dornheim H, et al. Comparative fishing with FRVs "Walter Herwig" and "Walter Herwig III." [R]. ICES CM 1994/B:15.
- [16] Byrne C, Forrester J. Effects of a gear change on a standardized bottom trawl survey time series[C]// Proceedings of OCEANS '87. New York: IEEE, 1987: 614-621.
- [17] Pelletier D. Intercalibration of research survey vessels in fisheries: A review and an application[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1998, 55(12): 2672-2690.
- [18] Murphy J, Temnykh O, Azumaya T. Trawl comparisons and fishing power corrections for the F/V Northwest Explorer,

- R/V TINRO, and R/V Kaiyo Maru During the 2002 BASIS Survey[R]. North Pacific Anadromous Fish Commission NMFS, NPAFC Doc. 677 Rev. 1, 2003: 25.
- [19] Wilderbuer T K, Kappennman R F, Gunderson D R. Analysis of fishing power correction factor estimates from a trawl comparison experiment[J]. North American Journal of Fisheries Management, 1998, 18(1): 11-18.
- [20] Herron R C, May L N. Using Kappennman's model to compare the relative fishing power of 42-foot shrimp trawls and 65-foot fish trawls during summer and fall in the western and north-central gulf of Mexico[J]. Gulf of Mexico Science, 2011, 29(2): 79-90.
- [21] Troncoso N G. Thorny skate indices from the Spanish surveys conducted in the NAFO Regulatory Area of Divisions: Northwest Atlantic Fisheries Organization[R]. Scientific Council Research (SCR) Documents, Serial No. N4972, NAFO SCR Doc. 04/24, 2004: 18.
- [22] Efron B, Tibshirani R J. An Introduction to the Bootstrap[M]. Boston: Springer US, 1993: 178-201.
- [23] Tan W Y, Tabatabai M A. Some robust anova procedures under heteroscedasticity and nonnormality[J]. Communications in Statistics - Simulation and Computation, 1985, 14(4): 1007-1026.
- [24] Carrothers P J G. Catch variability due to variations in groundfish otter trawl behaviour and possibilities to reduce it through instrumented fishing gear studies and improved fishing procedures[J]. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 1981, 58: 247-257.
- [25] Byrne C J, Azarowitz T R, Sissenwine M P. Factors affecting variability of research survey vessel trawl surveys[J]. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 1981, 58: 258-273.
- [26] Tyson J T, Johnson T B, Knight C T, et al. Intercalibration of research survey vessels on Lake Erie[J]. North American Journal of Fisheries Management, 2006, 26(3): 559-570.
- [27] Fryer R J, Zuur A F, Graham N. Using mixed models to combine smooth size-selection and catch-comparison curves over hauls[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2003, 60(4): 448-459.
- [28] Byrne C J, Forrester J R S. Relative fishing power of NOAA RVs Albatross IV and Delaware II[R]. National Marine Fisheries Service, Woods Hole, MA, 1991.
- [29] Munro P T. A decision rule based on the mean square error for correcting relative fishing power differences in trawl survey data[J]. Fishery Bulletin, 1998, 96(3): 538-546.
- [30] Jones C M, Robson D S, Lakkis H D, et al. Properties of catch rates used in analysis of angler surveys[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1995, 124(6): 911-928.
- [31] Sun M C. Marine Fishery Technology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2012: 95-104. [孙满昌. 海洋渔业技术学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 95-104.]

Assessment of fishing power correction factors between two types of bottom trawlers

LIU Zunlei^{1,2}, YANG Linlin^{1,2}, YUAN Xingwei^{1,2}, YAN Liping^{1,2}, ZHANG Hui^{1,2}, CHENG Jiahua^{1,2}

1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

2. Key Laboratory of East China Sea Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 200090, China

Abstract: Fisheries stock assessments often rely on time series of abundance indices obtained from annual surveys. Thus, it is important to maintain the temporal continuity of such series when vessels have changed. This can be achieved by estimating conversion coefficients between the two vessels through an intercalibration experiment. This paper describes such an experiment conducted between the commercial trawler “zheshengyu10201-10243” (standard vessel) and the research vessel “zhongyuke211” (experimental vessel). Two analytical techniques were applied to compare trawl data and obtain fishing power correction factors for twelve major species and four species-group combinations caught by the two trawlers. Fishing power correction techniques included ratios of catch per unit effort (CPUE) and the Kappenman method. The results showed that 74 and 84 species were identified from the standard trawler and the experimental vessel, with catch rates range of (47.27–1836.72) kg/nmile², and (12.28–311.85) kg/nmile², respectively. The standard vessel had high catch rates of *Larimichthys polyactis* and *Harpodon nehereus*. The catch rate range were (1.17–1113.26) kg/nmile² and (0–565.39) kg/nmile², respectively. However, *Engraulis japonicus* and *Lophius litulon* were the top two species caught by the experimental vessel, with catch rates range of (0–277.59) kg/nmile² and (0–125.24) kg/nmile², respectively. The trends of capture rate varied with depth showed differentiation between the standard vessel and the experimental vessel. Eight species/groups showed similar changes in capture rate by depth, including species-group, fish-group, *Pampus argenteus*, *Lophius litulon*, *Champsodon snyderi*, *Apogonichthys lineatus*, *Chelidonichthys spinosus* and *Solenocera melancho*. Five species/group showed the opposite trend in capture rate by depth, including crustaceans, *Ovalipes punctatus*, *Engraulis japonicas*, *Amblychaeturichthys hexanema* and *Erisphex pottii*; Cephalopods, *Larimichthys polyactis*, and *Harpodon nehereus* showed mixed changes in catch rate at different depth stratum, which was related to the vertical expansion and the position of the net mouth. The ratio of mean CPUE and the Kappenman method estimated the total catch fishing power correction factor (FPC) to be 0.35 (95% confidence interval 0.24–0.61) and 0.43 (95% confidence interval 0.27–0.70), respectively. FPC values based on the ratio of mean CPUE ranged from a low of 0.03 for *Larimichthys polyactis* to 2.61 for *Champsodon snyderi*. The FPC was significantly different for five species-groups ($P<0.05$). These were species-group, fish, cephalopods, *Larimichthys polyactis* and *Chelidonichthys spinosus*. It was necessary to correct the CPUE data by applying the estimated correction factor. The harvest of the standard vessel was dominated by near-bottom species, which represented its excellent performance in capturing economically important commercial species. However, the composition of the standard vessel’s harvest was not strongly representative of the ecosystem. The experimental vessel was suitable for the investigation of shallow water areas. In deep water areas, due to insufficient vertical expansion and settlement of net mouth, it had difficulty capturing species reflecting the composition of the near-bottom ecosystem.

Key words: East China Sea; resource survey; fishing power; trawler; parallel trials

Corresponding author: YAN Liping. E-mail: yanlp@ecsf.ac.cn