

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180226001

http://www.yykxjz.cn/

陶雅晋, 冯波, 易木荣, 李波, 卢伙胜, 颜云榕. 基于渔港抽样调查不同捕捞方式CPUE单位标准化新方法. 渔业科学进展, 2019, 40(2): 15-24

Tao YJ, Feng B, Yi MR, Li B, Lu HS, Yan YR. A novel approach to unit standardization of CPUE for multiple types of fishing gear based on fishing port sampling surveys. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(2): 15-24

基于渔港抽样调查不同捕捞方式 CPUE 单位标准化新方法*

陶雅晋¹ 冯波^{1,2,3} 易木荣¹ 李波¹ 卢伙胜^{1,2,3} 颜云榕^{1,2,3,4①}

(1. 广东海洋大学水产学院 湛江 524088; 2. 广东海洋大学南海渔业资源监测与评估中心 湛江 524088; 3. 广东省南海深远海渔业管理与捕捞工程技术研究中心 湛江 524088; 4. 广东海洋大学深圳研究院海洋渔业信息化技术化中心 深圳 518000)

摘要 本研究是在阐明传统 CPUE(Catch Per Unit Effort)单位表述多样性的基础上,分析传统 CPUE 存在的不确定性、单位不统一性以及解析与意义不完整等问题。对 24 个 CPUE 单位,首先通过通用性标准,筛选出各种捕捞方式均能适用的 8 个 CPUE 单位;再通过相似性标准,对 CPUE 单位聚类分成 2 组,并在每组中筛选出最佳单位为 kg/(kW·d)和 kg/d;最后通过稳定性筛选标准对其标准差与变异系数值计算,最终得到 CPUE 的标准单位: kg/(kW·d),并确定 CPUE 的表达形式。本研究还基于 CPUE 单位标准化进行了实证分析,对 2016 年 4 个季度南海三省区的 9 种主要作业类型渔船的生产调查数据进行了分析比较,捕捞能力大小依次为:围网>双拖>刺网>罩网>张网>单拖>拖虾>笼壶>钓具。CPUE 经单位标准化后已具备进行捕捞产量统计、评估渔船捕捞能力、衡量资源相对丰度指数、评估渔业资源利用水平等功能。

关键词 CPUE; 单位标准化; kg/(kW·d); kg/d; 捕捞能力

中图分类号 S932 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2019)02-0015-10

单位捕捞努力量渔获量(Catch Per Unit Effort, CPUE)是指某渔场在某一时间段内总渔获量与总捕捞努力量的比值,表示的是平均捕捞努力量所对应的渔获量(詹秉义, 1995)。CPUE 通常被假定与渔业资源量之间成正比关系,是渔业资源生物量的重要指标(朱国平等, 2016)。

渔业资源的评估对生态系统的监测与保护、渔业的科学管理、渔业政策方针的制定等方面起着重要的

基础性作用(周应其, 2014)。国外有学者很早就开始强调使用捕捞渔获物和捕捞努力量数据作为统计资源丰度的指数(Smith, 1994),早期是利用渔获量的时间变化来预测相对种群丰度的年度变化(Robson, 1961)。国内很多学者通过模型方法对 CPUE 标准化(官文江等, 2014; 许骆良等, 2015)和渔场预报(方学燕等, 2014; 汪金涛等, 2014)等方面做了大量讨论与研究。随着计算机技术的发展、先进统计软件的广泛使

* 国家自然科学基金项目(41376158)和广东省教育厅南海深远海渔业资源评估与监测(2014GKXM048)共同资助 [This work was supported by National Natural Science Foundation of China (41376158), and Assessment and Monitoring of Deep Sea Fisheries Resources in the South China Sea, Guangdong Provincial Education Department (2014GKXM048)]. 陶雅晋, E-mail: 1129230184@qq.com

① 通讯作者: 颜云榕, 教授, E-mail: yanyr@gdou.edu.cn

收稿日期: 2018-02-26, 收修改稿日期: 2018-03-28

用和各种模型的推断与应用,可以在 CPUE 标准化过程中允许更多的因素纳入,并去除相关影响(官文江等,2014)。利用渔获量和捕捞努力量数据为基础,计算丰度指数仍然是评估鱼类种群大小不可或缺的方法之一(Campbell,2004),但传统 CPUE 在表述中也存在一些明显问题:一是由于渔船的作业类型、大小、网具特征等因素的不同,传统 CPUE 的表达形式表现出多样性与复杂性;二是捕捞能力是 CPUE 标准化必须考虑的因素,传统 CPUE 无法科学量化捕捞能力大小;三是衡量整个海域的资源情况需要综合考虑各种捕捞方式共同作用的影响,传统 CPUE 因表达形式未统一而难以作为衡量整体资源密度指标;四是传统 CPUE 单位表示呈现多样化与复杂化,导致多捕捞方式之间无法比较问题。

本研究在对传统 CPUE 表述存在各种问题的背景下,提出对 CPUE 的单位进行标准化,从通用性、相似性、稳定性 3 个标准进行合理性分析并筛选,进而确定 CPUE 的单位标准化形式。单位标准化后的 CPUE 能够对多种作业方式具有适应性、兼容性,改变以往因 CPUE 单位不统一而造成渔港渔业统计不规范、数据多次加工的难题,期望在渔业生产统计与

渔业管理范围内获得最佳秩序,以促进渔业资源捕捞可持续发展的最佳效益为目标。

1 材料与方法

1.1 生产调查数据来源

2016 年春(3~4 月)、夏(8 月中下旬)、秋(9~11 月)和冬(1~2 月) 4 个季度,广东海洋大学南海渔业资源监测与评估中心在南海三省区的 14 个主要渔港,对南海的单拖渔船、双拖渔船、拖虾渔船、围网渔船、罩网渔船、刺网渔船、钓渔船、笼壶渔船以及张网船的生产数据进行调查收集,数据记录的内容包括:渔船的主机功率、作业天数、作业海域、船员数、渔获种类与产量等,大部分数据来自渔船各个季度的销售结算单或者是船上的生产记录本,从而保证调查数据的真实性、可靠性与完整性。

1.2 CPUE 单位收集与整理

收集国内外相关文献,整理并记录 CPUE 出现的单位表示方法,并按照渔船的作业方式对 CPUE 单位进行归纳整理(表 1),一共收集了 24 个 CPUE 的单位(表 2)。

表 1 CPUE 单位整理

Tab.1 CPUE units collected according to different fishing types

作业方式 Fishing types	CPUE 单位 CPUE units
单拖 Otter trawl	t/h(逢志伟等,2016)、kg/h(袁兴伟等,2014)、t/d(牛明香等,2010)、t/net(化成君等,2011)、g/h(刘潇等,2015)、t/(h·kn)(孙珊等,2015)、kg/net(李发凯等,2016)、kg/(kW·d)(Ulman,2016)、kg/kW(莫苑敏等,2014)
双拖 Pair trawl	kg/(kW·d)(邹建伟等,2016)、kg/h(刘桂茂等,2000)
桁杆拖网 Beam trawl	kg/(kW·d)(邹建伟等,2016)、kg/h(邹建伟等,2015)
金枪鱼围网 Tuna purse seine	t/(d·net)(王家樵等,2005)、t/d(胡奎伟等,2011)
灯光围网 Light-purse seine	t/net(王从军等,2014)、ctn/net(陈新军等,2009)、t/d(陈峰等,2011)、kg/(kW·d)(杨伯华等,2013)、kg/h(刘桂茂等,2000)
钓具 Fishing tackle	n/(l·h)(陈新军等,2006)、t/d(陈新军等,2011)、t/1000hook(陈雪冬等,2006)、n/1000hook(闫敏等,2015)、n/l(钱卫国等,2008)、n/100 hook(张衡等,2011)、kg/hook(许友伟等,2015;张魁等,2015)、kg/(kW·d)(邹建伟等,2016)
张网 Stow net	kg/net(刘尊雷等,2013)、t/kW(张魁等,2015)
灯光罩网 Falling-net	kg/(kW·d)(邹建伟等,2016)、kg/net(冯波等,2012)、kg/h(张鹏等,2016)、kg/(kW·net)(颜云榕等,2009)、t/net(李雪丁等,2008)
拖虾 Shrimp trawl	kg/(kW·d)(邹建伟等,2016)、kg/h(刘桂茂等,2000)、kg/net(宋海棠等,1997)、t/h(朱国平等,2013)、n/h(凌建忠等,2008)
刺网 Gillnet	kg/(kW·d)(邹建伟等,2016;杨伯华等,2013)、kg/h(邹建伟等,2015)、g/(100 m ² ·h)(邢彬彬等,2017)、n/(p·d)、g/(p·d)(朱建成等,2016)
笼捕 Pot	kg/h(邹建伟等,2015)、g/net·h(董天威,2015)
定置网 Setnets	kg/h(邹建伟等,2015)、kg/d(王生等,2016)、g/(net·h)(陈勇等,2014)、kg/net(张雅芝等,2009)

注: net—网次; kn—节; hook—钩; n—尾; kW—千瓦; l—线; P—片; ctn—箱,下同

Note: net—net; kn—knot; hook—hook; n—tail; kW—kilowatt; l—line; P—piece; ctn—carton, the same as below

表 2 CPUE 单位编号
Tab.2 CPUE units list

编号 No.	CPUE 单位 CPUE units	编号 No.	CPUE 单位 CPUE units	编号 No.	CPUE 单位 CPUE units	编号 No.	CPUE 单位 CPUE units
1	kg/net	7	t/h	13	t/1000hook	19	kg/(kw·net)
2	kg/d	8	t/net	14	n/1000hook	20	g/net·h
3	kg/h	9	t/(h·kn)	15	n/l	21	g/(100 m ² ·h)
4	kg/(kW·d)	10	t/(d·net)	16	n/100hook	22	n/(p·d)
5	g/h	11	ctn/net	17	kg/hook	23	g/(p·d)
6	t/d	12	n/(l·h)	18	t/kW	24	kg/kW

1.3 CPUE 单位标准化方法

筛选过程: 根据通用性、相似性、稳定性 3 个筛选标准, 对 CPUE 的 24 个单位表达式逐步筛选得出 CPUE 标准化单位。由 CPUE 标准化单位确定 CPUE 标准化表达形式, 并在此基础上, 对南海区主要 9 种捕捞方式的 CPUE 进行实证分析(图 1)。

2 结果与分析

2.1 CPUE 筛选

2.1.1 通用性筛选 对已整理的 24 个 CPUE 单位进行通用性标准筛选, 通用性筛选是以能够对各种作业方式均适用原则, 首先逐一列出不具通用性的 CPUE 单位, 并阐述其原因; 最后余下的单位归类为多种渔业通用型 CPUE 单位。

经过通用性筛选, 24 个 CPUE 单位不具通用性

的有 16 个(表 3), 多种渔业通用的 CPUE 单位有 8 个(表 4)。

2.1.2 相似性筛选 将具有通用性的 8 个 CPUE 单位分为 2 类(表 5), 并且阐述其分类依据。

第 1 组 CPUE 的 5 个单位表达式表示渔获量与作业时间的比值关系。针对渔获量的表述: 克(g)是科学单位, 对其精确度要求高, 生产调查统计操作中较难实现; 吨(t)是质量的延伸单位, 对于渔获量相对较少的小型流刺网或笼壶等作业方式不适用; 在国际单位制的基本单位中, 质量的计量单位是千克(kg)。针对时间的表述: 不同作业方式渔船的工作时间不一致, 单拖渔船多是白天作业, 罩网和围网渔船是晚上作业, 刺网渔船等是根据流水情况不定期作业, 因此在作业时间方面, 选择天(d)作为多渔业作业时间统计单位最合适。所以在描述渔获量与时间关系的 CPUE 最佳统计单位为 kg/d。

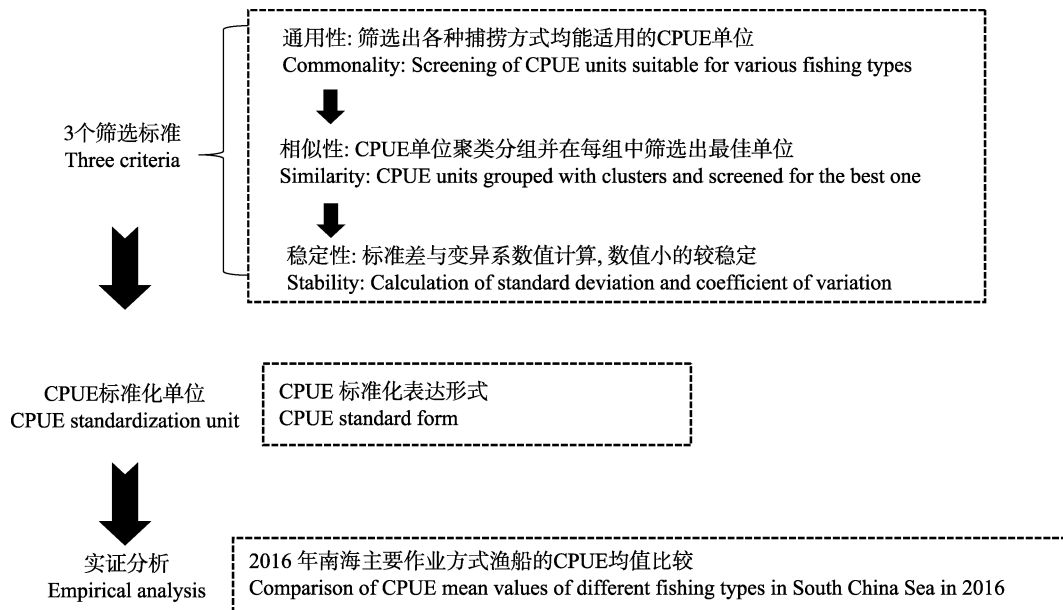


图 1 CPUE 标准化流程

Fig.1 CPUE standard process diagram

表3 不具通用性的 CPUE 单位
Tab.3 Special CPUE units

编号 No.	CPUE 单位 CPUE units	原因 Reason
1	t/net	钓具、笼壶等作业方式不适用 Cannot apply to fishing tackle and pot
2	t/(h·kn)	罩网、钓渔船等作业方式不适用 Cannot apply to fishing tackle and falling-net
3	t/(d·net)	钓具、笼壶等作业方式不适用 Cannot apply to fishing tackle and pot
4	ctn/net	钓具、笼壶等作业方式不适用 Cannot apply to fishing tackle and pot
5	n/(l·h)	仅适用于钓具 Only apply to fishing tackle
6	t/1000hook	仅适用于钓具 Only apply to fishing tackle
7	n/1000hook	仅适用于钓具 Only apply to fishing tackle
8	n/l	仅适用于钓具 Only apply to fishing tackle
9	n/100hook	仅适用于钓具 Only apply to fishing tackle
10	kg/hook	仅适用于钓具 Only apply to fishing tackle
11	kg/net	钓具、笼壶等作业方式不适用 Cannot apply to fishing tackle and pot
12	kg/(kW·net)	钓具、笼壶等作业方式不适用 Cannot apply to fishing tackle and pot
13	g/net·h	钓具、笼壶等作业方式不适用 Cannot apply to fishing tackle and pot
14	g/(100 m ² ·h)	仅适用于刺网 Only apply to gillnet
15	n/(p·d)	仅适用于刺网 Only apply to gillnet
16	g/(p·d)	仅适用于刺网 Only apply to gillnet

表4 通用的 CPUE 单位
Tab.4 Common CPUE units

编号 No.	CPUE 单位 CPUE units	编号 No.	CPUE 单位 CPUE units	编号 No.	CPUE 单位 CPUE units
1	t/h	4	t/kW	7	kg/(kW·d)
2	kg/d	5	g/h	8	t/d
3	kg/h	6	kg/kW		

表5 CPUE 单位相似性分组
Tab.5 CPUE units group by similarity

分组 Groups	CPUE 单位 CPUE units	分组依据 Basis for grouping
1	t/h、kg/h、g/h、t/d、kg/d	渔获量与时间的比值 Ratio of catch to time
2	t/kW、kg/kW、kg/(kW·d)	渔获量与渔船功率、时间的比值 Ratio of catch to fishing power and time

第2组 CPUE 的3个单位表述的是渔获量与渔船功率和作业天数之间的关系。同样,吨(t)是质量的延伸单位,在生产调查中应选择 kg 作为产量单位。比较 kg/kW 与 kg/(kW·d): kg/kW 表示1个周期内渔船每 kW 的渔获量;kg/(kW·d)表示的是平均每天每千瓦渔船的渔获量。考虑到周期的不确定性,所以第二组 CPUE 的最佳单位表达式: kg/(kW·d)。

通过相似性筛选, CPUE 仅留下2个单位: kg/d 和 kg/(kW·d)。

2.1.3 稳定性筛选 依据 CPUE 这2个单位的统计方法,对2016年夏季南海区9种不同捕捞方式之间的 CPUE 统计,计算并比较各自统计上的变异系数值

(表6)。

通过比较发现,利用 CPUE 单位 kg/(kW·d)计算的变异系数值比单位 kg/d 计算出的结果小,莫苑敏等(2014)通过这2种方法分别估计2007年夏季北部湾底拖网渔业产量:通过单船平均产量估算总产量的变异系数为14.65%,而通过每 kW 平均产量估算总产量的变异系数仅为1.13%,这表明在对生产数据捕捞效率的统计方面, CPUE 单位 kg/(kW·d)比单位 kg/d 更稳定。所以,在统计的稳定性方面, CPUE 单位 kg/(kW·d)比单位 kg/d 计算的结果更稳定,且估计的总产值更准确。

通过稳定性筛选, CPUE 仅留下单位 kg/(kW·d)。

表 6 2016 年夏季不同捕捞方式的 CPUE 计算稳定性差异比较
Tab.6 Comparison of stability differences based on CPUE between different fishing types in summer 2016

作业方式 Fishing types	单位 Unit (kg/d)			单位 Unit [kg/(kW·d)]		
	平均值 AVG	标准差 SD	变异系数 CV	平均值 AVG	标准差 SD	变异系数 CV
单拖 Otter trawl	784.11	2537.94	3.24	4.42	6.17	1.39
双拖 Pair trawl	3698.78	3053.69	0.83	11.48	9.02	0.79
刺网 Gillnet	510.66	554.59	1.09	3.84	2.77	0.72
围网 Seine	3103.60	2473.94	0.80	19.29	17.93	0.93
拖虾 Shrimp trawl	330.41	141.75	0.43	2.30	0.93	0.40
钓具 Fishing tackle	300.26	245.56	0.82	3.04	2.60	0.85
张网 Stow net	113.04	15.83	0.14	6.99	0.98	0.14
罩网 Falling-net	743.65	820.01	1.10	7.08	8.13	1.15
笼壶 Pot	44.25	31.97	0.72	4.42	3.17	0.72

2.2 CPUE 标准化表达式

经过 3 个筛选步骤, 最终确定 CPUE 标准化单位为: kg/(kW·d)。

此单位值的计算路径为: 某渔船以千克为单位的总产量除以获取产量的作业天数与渔船以千瓦为单位的主机功率乘积之商。所述总产量是指某捕捞渔船捕获的不以价值为取向的所有种类的总质量。所述作业天数是指某捕捞渔船扣除停港、航行、避风时间后以天为整数的捕获总产量的所有时间的总和, 包含航次内作业周期期间的间歇和故障处理时间。所述主机功率是指某捕捞渔船驱动航行动力的总功率。

2.3 实证分析

根据 2016 年春、夏、秋及冬 4 个季度南海区三省主要渔港的 9 种捕捞方式的生产调查数据, 结合 CPUE 标准化表达形式计算和比较不同作业方式 CPUE 的均值情况(图 2), 结果显示, 单拖、双拖、拖虾、罩网、刺网、钓具、笼壶、张网和围网对应的 CPUE 平均值依次为 3.95、8.77、3.11、4.81、4.96、2.35、3.08、4.73 和 29.57 kg/(kW·d), 根据 CPUE 均值的大小排序顺序为 CPUE 围网>CPUE 双拖>CPUE 刺网>CPUE 罩网>CPUE 张网>CPUE 单拖>CPUE 拖虾>CPUE 笼壶>CPUE 钓具。去掉最大值和最小值, 不同作业方式渔船

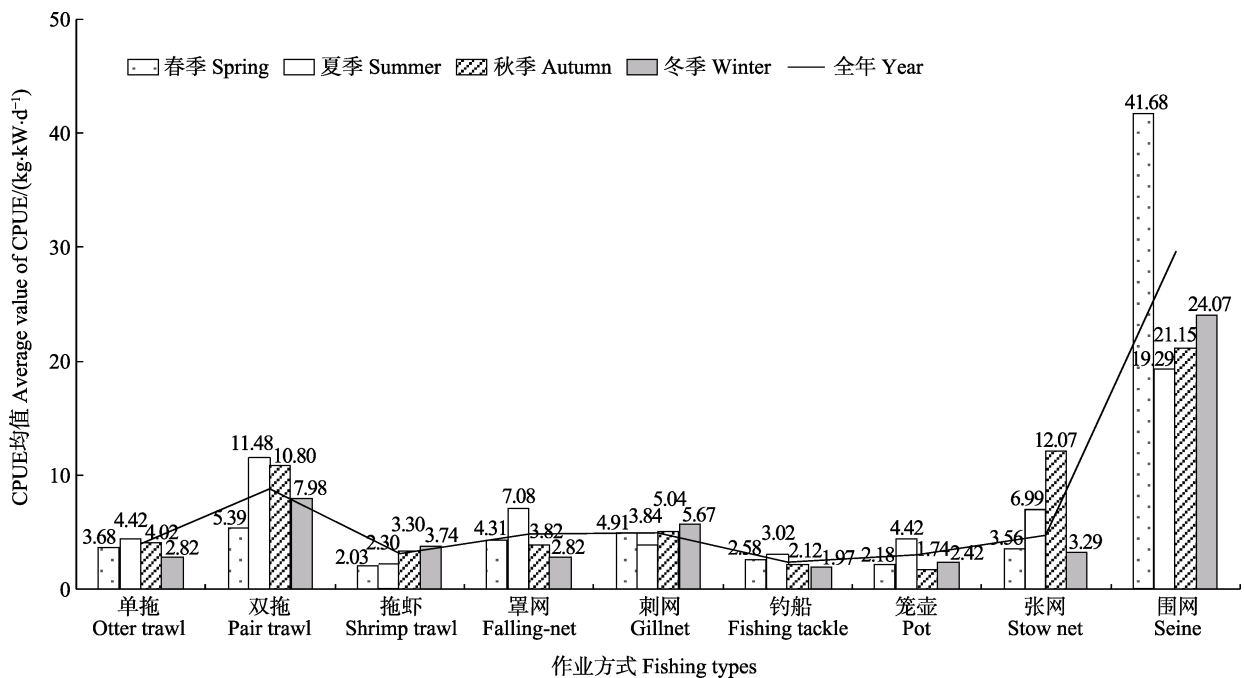


图 2 2016 年全年不同作业方式之间 CPUE 比较
Fig.2 Comparison of CPUE between different fishing types in 2016

的 CPUE 平均值为 4.77 kg/(kW·d)。

3 讨论

3.1 CPUE 单位筛选与单位标准化合理性讨论

在 CPUE 的单位筛选环节,首先通过通用性标准,筛选出各种捕捞方式均能适用的 8 个 CPUE 单位;再通过相似性标准分组筛选,得到 2 组 CPUE 最佳单位,分别为 kg/(kW·d)和 kg/d;最后通过稳定标准,将这 2 个单位,通过一捕捞实例计算其标准差与变异系数值,最终确定稳定性最好的 CPUE 单位为 kg/(kW·d)。筛选的方法多样,不仅限于本研究提出的这 3 种方法,例如,对 kg/(kW·d)和 kg/d 单位筛选,可以根据它们的技术表示效果(即技效性):kg/d 表示渔船每天的产量;而 kg/(kW·d)表示渔船每千瓦天的产量,即表示某种渔具在一定时间与资本的投入下的产出情况。假设 2 艘不同功率的渔船的作业海域、作业时间和渔获量都相同,通过 kg/d 与 kg/(kW·d)分别计算 2 艘船的 CPUE 值大小,会出现“相同”与“不相同”2 种相反的结果,但二者真实捕捞能力是不一样的。所以,从技效性筛选方面,筛选出的结果与通用性筛选的结果是一致的。筛选的最终目的,是在众多 CPUE 单位中筛选出一个对不同捕捞方式都适用、参数简单且在实际渔港调查中容易获取、并能体现其捕捞能力的最佳表达式。

本研究是将渔船功率和作业时间的乘积作为捕捞努力量单位表达形式,一方面,是因为渔具可能有详细数据,但不及渔船的吨位和功率资料完善;另一方面,渔船的大小以及渔船的吨位与渔船的功率相关性较强,且网具规模和尺寸的增大也需要主机功率随之增大,渔船功率的大小一定程度上可以反映捕捞能力的大小;莫苑敏等(2014)在研究中指出,单船每 kW 估算产量可以平抑不同渔船之间由于渔况、天气、渔船性能和渔民技术熟练程度等造成的产量差异,明显缩小各层内的样本方差。所以本研究将渔船功率与时间的乘积(即 kW·d)作为捕捞努力量的单位表达形式,并确定多钟渔业 CPUE 单位标准化表达形式为 kg/(kW·d)。

单位标准化后的 CPUE 可以对不同作业类型的渔船捕捞效率进行量化,可以对其进行大数据统计、分析与比较。在日常捕捞生产渔港调查中,按照渔船功率段分层抽样的方法进行调研,可以大大提高估计精度,减少人力、成本等。CPUE 单位统一化后可以实现对不同捕捞方式之间统一、规范的调查统计工作,从而可以进行不同渔业之间的比较分析,认识与

了解渔船的捕捞努力量与渔获量之间存在的规律;可以反映不同渔业 CPUE 在数值上的长期变动情况,进而分析、研究该现象的变动趋势,综合分析和评价不同渔业之间的关系;可以比较相同时间、同样油耗情况下渔获量的情况,反映不同捕捞方式之间的捕捞效率,体现不同作业类型渔船的自动化程度、机械化水平及其科技的运用等。

3.2 实证分析 CPUE 随捕捞方式变化

CPUE 单位标准化后,对 2016 年 4 个季度不同作业方式的均值比较:CPUE_{围网}>CPUE_{双拖}>CPUE_{刺网}>CPUE_{罩网}>CPUE_{张网}>CPUE_{单拖}>CPUE_{拖虾}>CPUE_{笼壶}>CPUE_{钓具},对应的 CPUE 平均值依次为 29.57、8.77、4.96、4.81、4.73、3.95、3.11、3.08 和 2.35 kg/(kW·d),对此现象分析,主要是由于不同作业方式具有不同的捕捞原理、作业特征和捕捞对象所致。围网渔船捕捞对象主要是集群性的中上层鱼类,如鲈鱼、眼镜鱼、蓝圆鲀、竹筴鱼、沙丁鱼、鲹等,具有生产规模大,网次产量高的特点(刘维等,2012),因此,围网的 CPUE 均值最高,但其生产技术水平要求也高。双拖是渔获产量最高的捕捞方式,需要 2 艘渔船共同操作,渔船功率较大,具有拖速快、作业范围广、产量高等特点,双拖渔船的 CPUE 均值仅次于围网渔船。刺网具有渔具结构简单、操作方便、对渔船动力要求较低、作业范围广、选择性好等特点,因此,刺网的 CPUE 均值也相对较高。而钓具和笼壶 CPUE 均值最低的原因是,钓具一钩一线,笼壶依靠捕捞对象生活习性进行诱捕,他们的选择性较强、渔获物相对较少。

邹建伟等(2016)在 2015 年北部湾北部沿岸伏季休渔效果评价中对桁杆拖网、灯光罩网、刺网、钓具、笼壶的捕捞努力量(kW·d)和捕捞产量(kg)等进行了统计,基于此数据计算 CPUE 值依次为:2.88、2.65、3.55、0.82、4.58 kg/(kW·d);本研究中单拖、罩网、刺网、钓具、笼壶 CPUE 均值依次为 3.11、4.81、2.35、3.08、4.73 kg/(kW·d)。除钓具差异较大外,其他作业类型的 CPUE 值近似,分析钓具差异的原因可能是,由于北部湾近岸经常受高强度捕捞(付奕奕,2012),导致钓具对北部湾近岸鱼类选择性比南海海域少。分析本研究中围网船 CPUE 均值异常高的原因,捕捞努力量在功率方面仅考虑了渔船的主机功率,忽略了作业集鱼灯的功率影响(南海区三省调查的围网渔船都是灯光作业渔船),其作业方式有别于其他作业类型网具,它是靠渔船灯光的诱集进行围捕,若引入灯光功率作为捕捞努力量的一部分,可以缩小与其他捕捞方式 CPUE 之间的差异。

通过实证分析表明, CPUE 标准化后具有统计功能, 对不同作业方式均适用, 且可以进行不同作业方式之间捕捞能力的初步比较。根据 CPUE 均值大小比较 9 种作业方式之间捕捞能力的大小依次为: 围网>双拖>刺网>罩网>张网>单拖>拖虾>笼壶>钓具。

4 展望

传统 CPUE 存在不确定性和计算单位不统一性, 以及解析与意义不完整等问题, 本研究中 CPUE 经单位标准化后弥补了传统 CPUE 的不足, 并具备了评估不同渔船之间的捕捞效率、初步衡量资源相对丰度指数、评估渔业资源利用水平和进行捕捞产量统计等功能。该标准化方法一定程度上达到预期的效果, 简化与规范了渔业生产调查中的统计参数, 但也存在明显的不足: CPUE 单位标准化后仅考虑了时间和渔船功率参数的影响, 忽略了渔船人数、船长、船龄、捕捞技术、先进的探鱼设备等其他影响 CPUE 的重要因素 (Salthaug *et al.*, 2001); CPUE 值还无法直接代表渔业资源的丰度状况, 需要结合捕捞海域的环境、年与月的效应、区域性等因素, 运用模型的思想, 去除相关因素的影响, 重构资源与 CPUE 之间的正比关系。因此, 在下一步的工作中, 将继续探寻 CPUE 标准化的创新方法, 逐渐完善对海洋捕捞的 CPUE 标准化过程, 选择更加合理的参数加入到标准化公式中来, 达到生产统计与科研探究双赢的效应。此外, 广东海洋大学渔业资源监测与评估中心已收集到最新的南海区渔船的生产数据, 利用 CPUE 来分析不同捕捞方式之间的生产与效率情况, 结合多种捕捞渔具和历史数据, 分析 CPUE 长期的波动趋势, 来综合分析南海渔业资源长期的变化情况和资源的丰度状态, 进而为政府提供基础性数据和政策性参考建议。

参 考 文 献

- Campbell RA. CPUE standardisation and the construction of indices of stock abundance in a spatially varying fishery using general linear models. *Fisheries Research*, 2004, 70(2-3): 209-227
- Chen F, Lei L, Mao ZH, *et al.* Fishery forecasting for chub mackerel (*Scomber japonicus*) in summer in the East China Sea based on water quality from remote sensing. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2011, 31(3): 56-62 [陈峰, 雷林, 毛志华, 等. 基于遥感水质的夏季东海鲈鱼渔情预报研究. 广东海洋大学学报, 2011, 31(3): 56-62]
- Chen XJ, Qian WG, Tian SQ. Resource density and distributions of *Symlectoteuthis oualaniensis* in open seas of northern Arabian Sea. *Advances in Marine Science*, 2006, 24(3): 90-94 [陈新军, 钱卫国, 田思泉. 阿拉伯海北部公海海域鳶乌贼资源密度及其分布. 海洋科学进展, 2006, 24(3): 90-94]
- Chen XJ, Cao J, Liu BL, *et al.* Stock assessment and management of *Ommastrephes bartramii* by using a Bayesian Schaefer model in the Northwestern Pacific Ocean. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(10): 1572-1581 [陈新军, 曹杰, 刘必林, 等. 基于贝叶斯 Schaefer 模型的西北太平洋柔鱼资源评估与管理. 水产学报, 2011, 35(10): 1572-1581]
- Chen XD, Cui XS. Application study on relationship between bigeye tuna fishing grounds and environment in the eastern and central Pacific Ocean by satellite remote sensing. *Remote Sensing Information*, 2006(1): 25-28 [陈雪冬, 崔雪森. 卫星遥感在中东太平洋大眼金枪鱼渔场与环境关系的应用研究. 遥感信息, 2006(1): 25-28]
- Chen Y, Yang J, Tian T, *et al.* The enhancement effect of fishery resources on artificial reefs in marine ranching area in Zhangzi Island. *Journal of Dalian Ocean University*, 2014, 29(2): 183-187 [陈勇, 杨军, 田涛, 等. 獐子岛海洋牧场人工鱼礁区鱼类资源养护效果的初步研究. 大连海洋大学学报, 2014, 29(2): 183-187]
- Dong TW. Preliminary evaluation of artificial reef around Rizhao Qiansan Island on the enhancement of fishery resources. Master is thesis of Ocean University of China, 2015 [董天威. 日照前三岛人工鱼礁渔业资源增殖效果初步评价. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2015]
- Fang XY, Chen XJ, Ding Q. Optimization fishing ground prediction models of *Dosidicus gigas* in the high sea off Chile based on habitat suitability index. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2014, 34(4): 67-73 [方学燕, 陈新军, 丁琪. 基于栖息地指数的智利外海茎柔鱼渔场预报模型优化. 广东海洋大学学报, 2014, 34(4): 67-73]
- Feng B, Xu YX, Lu HS. Fishing survey by light falling net and tuna longline in the waters of Nansha Islands. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2012, 32(4): 54-58 [冯波, 许永雄, 卢伙胜. 南沙北部灯光罩网与金枪鱼延绳钓联合探捕. 广东海洋大学学报, 2012, 32(4): 54-58]
- Fu YY. Studies on food web structure and energy flows of offshore ecosystem, Guangxi. Is thesis of Xiamen University, 2012: 4-6 [付奕奕. 广西近海生态系统食物网结构及能量流动研究. 硕士研究生学位论文厦门大学, 2012: 4-6]
- Guan WJ, Chen XJ, Gao F, *et al.* Comparisons of regression tree and GLM performance in CPUE standardization. *Journal of Shanghai University*, 2014, 23(1): 123-130 [官文江, 陈新军, 高峰, 等. GLM 模型和回归树模型在 CPUE 标准化中的比较分析. 上海海洋大学学报, 2014, 23(1): 123-130]
- Guan WJ, Tian SQ, Wang XF, *et al.* A review of methods and model selection for standardizing CPUE. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(4): 852-862 [官文江, 田思泉, 王学昉, 等. CPUE 标准化方法与模型选择的回顾与展望. 中国水产科学, 2014, 21(4): 852-862]

- Hu KW, Zhu GP, Wang XF, *et al.* Spatio-temporal distribution of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) abundance and its relationship with sea surface temperature in Western and Central Pacific Ocean. *Marine Fisheries*, 2011, 33(4): 417–422 [胡奎伟, 朱国平, 王学昉, 等. 中西太平洋鲣鱼丰度的时空分布及其与表温的关系. *海洋渔业*, 2011, 33(4): 417–422]
- Hua CJ, Zhang H, Fan W. Spatial-temporal patterns of fishing grounds and resource of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) in the Southeast Pacific Ocean. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(19): 5676–5681 [化成君, 张衡, 樊伟. 东南太平洋智利竹筴鱼资源和渔场的时空变化. *生态学报*, 2011, 31(19): 5676–5681]
- Li FK, Tanaka E, Iwata S, *et al.* Stock assessment of hairtail *Trichiurus lepturus* in the East China Sea and Yellow Sea using age structured production model. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2016, 35(2): 91–98 [李发凯, 田中荣次, 岩田繁英, 等. 应用年龄结构产量模型评估东黄海带鱼资源. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2016, 35(2): 91–98]
- Li XD, Shang SL, Lu ZB. Monthly variation of the catch ability of chub mackerel and round scad in the southern Taiwan Strait. *Journal of Marine Sciences*, 2008, 26(3): 18–24 [李雪丁, 商少凌, 卢振彬. 台湾海峡南部鲈鲛鱼类资源的时空分布. *海洋学研究*, 2008, 26(3): 18–24]
- Ling JZ, Li HY. Analysis on status of shrimp stocks of shrimp beam trawling at East China Sea region in 2007. *Modern Fisheries Information*, 2008, 23(2): 13–16 [凌建忠, 李惠玉. 2007 年东海区桁杆拖虾资源状况分析. *现代渔业信息*, 2008, 23(2): 13–16]
- Liu GM, Chen CR. Preliminary assessment on achievements of summer fishing moratorium in south China Sea. *Marine Fisheries*, 2000, 22(1): 5–7 [刘桂茂, 陈楚荣. 南海区首次伏季休渔成效的初步评估. *海洋渔业*, 2000, 22(1): 5–7]
- Liu W, Zhang YX, Chen JM, *et al.* Preliminary analysis of fish resources in the Nansha Islands waters survey using light-purse seiner in spring season. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012, 21(1): 105–109 [刘维, 张羽翔, 陈积明, 等. 南沙群岛春季灯光围网渔业资源调查初步分析. *上海海洋大学学报*, 2012, 21(1): 105–109]
- Liu X, Zhang CL, Ren YP, *et al.* Spatiotemporal variation in the distribution and abundance of *Chaeturichthys stigmatias* in the Yellow River estuary and adjacent waters. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(4): 791–798 [刘潇, 张崇良, 任一平, 等. 黄河口及邻近水域矛尾虾虎鱼资源丰度的时空分布. *中国水产科学*, 2015, 22(4): 791–798]
- Liu ZL, Yan LP, Yuan XW, *et al.* Stock assessment of small yellow croaker in the East China Sea based on multi-source data. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(5): 1039–1049 [刘尊雷, 严利平, 袁兴伟, 等. 基于多源数据的东海小黄鱼资源评估与管理. *中国水产科学*, 2013, 20(5): 1039–1049]
- Lu HJ, Chen XJ, Cao J. CPUE Standardization of *Illex argentinus* for Chinese Mainland squid-jigging fishery based on generalized linear Bayesian models. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(17): 5375–5384 [陆化杰, 陈新军, 曹杰. 基于 GLBM 模型的中国大陆阿根廷滑柔鱼鱿钓渔业 CPUE 标准化. *生态学报*, 2013, 33(17): 5375–5384]
- Mo YM, Gong C, Feng B, *et al.* Estimation of trawler catch in Beibu Gulf by stratified sampling. *Fishery Information and Strategy*, 2014, 29(3): 211–214 [莫苑敏, 龚超, 冯波, 等. 应用分层抽样技术估计北部湾底拖网渔业产量. *渔业信息与战略*, 2014, 29(3): 211–214]
- Niu MX, Li XS, Xu YC. Effects of spatiotemporal and environmental factors on the fishing ground of *Trachurus murphyi* in Southeast Pacific Ocean based on generalized additive model. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(4): 1049–1055 [牛明香, 李显森, 徐玉成. 基于广义可加模型的时空和环境因子对东南太平洋智利竹筴鱼渔场的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(4): 1049–1055]
- Pang ZW, Li XS, Zhu JC, *et al.* Spatiotemporal patterns of central fishing ground of pelagic fishes in the sea area of central Eastern Central Atlantic. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(11): 3072–3079 [逢志伟, 李显森, 朱建成, 等. 中东大西洋中部海域中上层鱼类中心渔场的时空变化. *生态学杂志*, 2016, 35(11): 3072–3079]
- Qian WG, Chen XJ, Zheng B, *et al.* Study on the resource density distribution of *Dosidicus gigas* and marine environment in the high sea waters off Chile. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2008, 17(1): 98–103 [钱卫国, 陈新军, 郑波, 等. 智利外海茎柔鱼资源密度分布与渔场环境的关系. *上海水产大学学报*, 2008, 17(1): 98–103]
- Robson DS. Estimation of the relative fishing power of individual ships. *ICNAF Research Bulletin*, 1961, 2: 5–14
- Salthaug A, Godø OR. Standardisation of commercial CPUE. *Fisheries Research*, 2001, 49(3): 271–281
- Smith TD. *Scaling fisheries: The science of measuring the effects of fishing, 1855–1955.* Oxford City: Cambridge University Press, 1994
- Song HT, Ding TM. The present state of shrimp trawling fishery and suggestions on building up no shrimp-trawling season in East China Sea. *Journal of Zhejiang College of Fisheries*, 1997, 16(4): 12–17 [宋海棠, 丁天明. 东海北部拖虾渔业的现状与设立拖虾休渔期的建议. *浙江水产学院学报*, 1997, 16(4): 12–17]
- Sun S, Li XS, Zhao WW, *et al.* Effects of temporal, spatial and environmental factors on distribution of Antarctic Krill (*Euphausia superba*) in 2013 based on generalized additive model. *Fisheries Science*, 2015, 34(10): 609–615 [孙珊, 李显森, 赵文武, 等. 基于广义可加模型分析时空和环境因子对 2013 年南极磷虾资源分布的影响. *水产科学*, 2015, 34(10): 609–615]
- Ulman A, Pauly D. Making history count: The shifting baselines of Turkish fisheries. *Fisheries Research*. 2016, 183: 74–79
- Wang CJ, Zou LJ, Li G, *et al.* Analysis of the inter-annual variation of chub mackerel abundance in the East China Sea and Yellow Sea during 1999–2011. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(1): 56–64 [王从军, 邹莉瑾, 李纲, 等.]

- 1999–2011 年东、黄海鲈资源丰度年间变化分析. 水产学报, 2014, 38(1): 56–64]
- Wang JQ, Xu LX, Zhu GP, *et al.* Analysis of temporal and spatial fluctuations on purse seine fishery in the Western and Central Pacific Ocean based on GIS technology. *Marine Fisheries*, 2005, 27(4): 292–297 [王家樵, 许柳雄, 朱国平, 等. 利用 GIS 分析中西太平洋金枪鱼围网渔场的时空变动. 海洋渔业, 2005, 27(4): 292–297]
- Wang JT, Gao F, Lei L, *et al.* Modeling of fishing grounds for *Dosidicus gigas* based on BP neural network in southeast Pacific. *Marine Fisheries*, 2014, 36(2): 131–137 [汪金涛, 高峰, 雷林, 等. 基于神经网络的东南太平洋茎柔鱼渔场预报模型的建立及解释. 海洋渔业, 2014, 36(2): 131–137]
- Wang S, Duan XB, Chen WJ, *et al.* Status and changes of fish resources in the Hukou area of Poyang Lake. *Freshwater Fisheries*, 2016, 46(6): 50–55 [王生, 段辛斌, 陈文静, 等. 鄱阳湖湖口鱼类资源现状调查. 淡水渔业, 2016, 46(6): 50–55]
- Xing BB, Guo R, Li XS, *et al.* Fishing capacity comparison of different types of gillnet in the Liaodong Bay. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(2): 24–30 [邢彬彬, 郭瑞, 李显森, 等. 辽东湾不同型刺网捕捞性能的比较. 渔业科学进展, 2017, 38(2): 24–30]
- Xu LL, Chen XJ, Wang JT, *et al.* Stock assessment and management of *Dosidicus gigas* in the Southeast Pacific Ocean with Schaefer model. *Acta Oceanologica Sinica*, 2015, 37(10): 49–58 [许骆良, 陈新军, 汪金涛, 等. 基于 Schaefer 模型的东南太平洋茎柔鱼资源评估和管理. 海洋学报, 2015, 37(10): 49–58]
- Xu YW, Zhang K, Chen ZZ. Stock assessment for the albacore fishery in the Southern Atlantic Ocean base on CEDA and ASPIC programs. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2015(3): 46–54 [许友伟, 张魁, 陈作志. 基于 CEDA 和 ASPIC 软件的南大西洋长鳍金枪鱼渔业资源评估研究. 海洋湖沼通报, 2015(3): 46–54]
- Yan M, Zhang H, Fan W, *et al.* Spatial-temporal CPUE profiles of the albacore tuna (*Thunnus alalunga*) and their relations to marine environmental factors in the South Pacific Ocean. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(11): 3191–3197 [闫敏, 张衡, 樊伟, 等. 南太平洋长鳍金枪鱼渔场 CPUE 时空分布及其与关键海洋环境因子的关系. 生态学杂志, 2015, 34(11): 3191–3197]
- Yan YR, Feng B, Luo HS, *et al.* Analysis on fishing capability of two light attracting commercial fishing methods around Zhongsha and Xisha Islands sea areas, South China Sea. *South China Fisheries Science*, 2009, 5(6): 59–64 [颜云榕, 冯波, 卢伙胜. 中、西沙海域 2 种灯光作业渔船的捕捞特性及其技术效率分析. 南方水产, 2009, 5(6): 59–64]
- Yang BH, Zhou JW. Assessment on achievements of summer fishing moratorium in South China Sea in 2012—Based on the comparison of fishing production among trawling, seines, gill nets. *Chinese Fisheries*, 2013(2): 73–75 [杨伯华, 邹建伟. 2012 年南海伏季休渔效果评价——基于拖网、围网、刺网渔船生产对比. 中国水产, 2013(2): 73–75]
- Yuan XW, Yan LP, Liu ZL, *et al.* A performance comparison of stock density estimation of *Larimichthys polyactis* in the East China Sea using different models based on bottom trawl survey. *South China Fisheries Science*, 2014, 10(6): 20–26 [袁兴伟, 严利平, 刘尊雷, 等. 基于底拖网调查的东海区小黄鱼资源密度不同估算方法差异比较. 南方水产科学, 2014, 10(6): 20–26]
- Zhan BY. *Fisheries resources assessment*. Beijing: China Agricultural Press, 1995, 59–74 [詹秉义. 北京: 渔业资源评估. 中国农业出版社, 1995, 59–74]
- Zhang H, Fan W, Cui XS. Relationship of distribution of albacore *Thunnus alalunga* longline fishery grounds and sea surface temperature in the North Pacific Ocean. *Progress in Fishery Sciences*, 2011, 32(6): 1–6 [张衡, 樊伟, 崔雪森. 北太平洋长鳍金枪鱼延绳钓渔场分布及其与海水表层温度的关系. 渔业科学进展, 2011, 32(6): 1–6]
- Zhang K, Chen ZZ. Using Bayesian state-space modelling to assess *Trichiurus japonicus* stock in the East China Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(5): 1015–1026 [张魁, 陈作志. 应用贝叶斯状态空间建模对东海带鱼的资源评估. 中国水产科学, 2015, 22(5): 1015–1026]
- Zhang K, Liu Q, Liao BC. Risk assessment and management for the Southern Atlantic Albacore (*Thunnus alalunga*) fishery based on bayes method. *Periodical of Ocean University of China (Natural Science)*, 2015, 45(6): 51–56 [张魁, 刘群, 廖宝超. 基于贝叶斯方法的南大西洋长鳍金枪鱼渔业的风险评估与管理. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2015, 45(6): 51–56]
- Zhang P, Zhang J, Li Y, *et al.* An exploratory fishing survey of light falling-net fisheries in the central and southern South China Sea in autumn. *South China Fisheries Science*, 2016, 12(2): 67–74 [张鹏, 张俊, 李渊, 等. 秋季南海中南部海域的一次灯光罩网探捕调查. 南方水产科学, 2016, 12(2): 67–74]
- Zhang YZ, Huang LM. A study on fish species diversity and community structure in eastern waters of Xiamen. *Journal of Tropical Oceanography*, 2009, 28(2): 66–76 [张雅芝, 黄良敏. 厦门东海域鱼类的群落结构及种类多样性研究. 热带海洋学报, 2009, 28(2): 66–76]
- Zhu GP, Wang R. Catch per unit effort of Antarctic krill (*Euphausia superba*) fishery and its suitability to abundance estimation. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(7): 1072–1079 [朱国平, 王芮. 南极磷虾渔业 CPUE 及其丰度估算适用性. 水产学报, 2016, 40(7): 1072–1079]
- Zhu GP, Zhu XY, Meng T, *et al.* The variation and impacting factors in CPUE index of Antarctic krill fishery around Livingston Island during fall–winter of 2012. *Journal of Dalian Ocean University*, 2013, 28(4): 399–405 [朱国平, 朱小艳, 孟涛, 等. 2012 年秋冬季利文斯顿岛南极磷虾渔业 CPUE 指标变动及其影响因素. 大连海洋大学学报, 2013, 28(4): 399–405]
- Zhu JC, Li XS, Du SJ, *et al.* Studies on parameter optimization of *Scomberomorus niphonius* big-mesh drift gillnet. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(5): 64–73 [朱建成, 李显森, 都松军, 等. 蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)大网目流刺网参数优化研究. 渔业科学进展, 2016, 37(5): 64–73]

- Zhou YQ. Thoughts on conservation of fishery resources and ecological system related. Symposium on water Environment Rehabilitation, 2014 [周应祺. 渔业资源与生态系统养护的思考. 水域生态环境修复学术研讨会, 2014年10月23日]
- Zou JW, Wang QZ, Huang JX, *et al.* Assessment on achievements of summer fishing moratorium in the continental shelf of northern south China Sea, 2016. Fisheries Science and Technology Information, 2016, 43(6): 318–323 [邹建伟, 王强哲, 黄俊秀, 等. 南海北部大陆架渔场 2016 年伏季休渔效果评价. 水产科技情报, 2016, 43(6): 318–323]
- Zou JW, Huang JX, Wang QZ. Assessment on achievements of summer fishing moratorium in coastal fishing grounds in northern Beibu Gulf, 2015. Fishery Information and Strategy, 2016, 31(2): 132–138 [邹建伟, 黄俊秀, 王强哲. 北部湾北部沿岸渔场 2015 年伏季休渔效果评价. 渔业信息与战略, 2016, 31(2): 132–138]
- Zou JW, Wang QZ, Lin PW, *et al.* Assessment of impact of summer fishing moratorium on shrimp fishing in northern Beibu Gulf. South China Fisheries Science, 2015, 11(6): 88–93 [邹建伟, 王强哲, 林丕文, 等. 伏季休渔对北部湾北部虾类捕捞的影响及评价. 南方水产科学, 2015, 11(6): 88–93]

(编辑 江润林)

A Novel Approach to Unit Standardization of CPUE for Multiple Types of Fishing Gear Based on Fishing Port Sampling Surveys

TAO Yajin¹, FENG Bo^{1,2,3}, YI Murong¹, LI Bo¹, LU Huosheng^{1,2,3}, YAN Yunrong^{1,2,3,4}①

(1. College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088; 2. Center of South China Sea Fisheries Resources Monitoring and Assessment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088; 3. Guangdong Provincial Engineering and Technology Research Center of Far Sea Fisheries Management and Fishing of South China Sea, Zhanjiang 524088; 4. Shenzhen Institute of Guangdong Ocean University, Marine Fisheries Information Technique of South China Sea, Shenzhen 518000)

Abstract Traditional CPUE (catch-per-unit-effort) units show diversity and complexity due to the different types of fishing methods, sizes of vessels, and characteristics of fisheries on which they are based, leading to problems with data incomparability among multiple fishing gear types. To assess the fish stocks in a specific areas of the sea, the impact of various different fishing types needs to be considered, but using traditional CPUE data makes it difficult to assess these stocks because of variations in the units used. We reviewed the relevant literature and screened out 24 types of CPUE units. The following processes were then carried out to standardize CPUE units across multiple fishing types. First, eight CPUE units appropriate for different fisheries were selected based on general criteria. Those CPUE units were then divided into two groups based on overall similarities and differences. The two main applicable CPUE units of kg/(kW·d) and kg/d were identified at this stage. Finally, the coefficient of variation (CV) of each of these two selected CPUE units was calculated. The smaller the value of the CV was, the more stable the unit was concluded to be. The optimum unit was determined to be kg/(kW·d) based on this stability criterion. The landings of nine major fishing types in the South China Sea in each of the four seasons of 2016 were then analyzed using this optimal CPUE unit. The results of this analysis showed that the fishing capacity of different gear types were arranged in the following order: Seine > Pair trawl > gillnet > falling-net > stow net > otter trawl > shrimp trawl > pot > fishing tackle, corresponding to mean values of 29.57, 8.77, 4.96, 4.81, 4.73, 3.95, 3.11, 3.08, and 2.35 kg/(kW·d), respectively. After catch data are standardized by the optimal novel CPUE unit developed in this study, comparisons and analyses of fishing capacity among gear types, relative abundance and utilization levels of different fisheries resources, and fisheries catch statistics could be conducted with greater accuracy than was previously possible.

Key words CPUE; Unit standardization unit.; kg/(kW·d); kg/d; Fishing ability

① Corresponding author: YAN Yunrong, E-mail: yanyr@gdou.edu.cn