

文章编号: 1674-5566(2015)04-0610-07

LED 集鱼灯在海中的光谱分布及使用效果分析

王伟杰^{1,2}, 钱卫国^{1,2,3}, 孔祥洪⁴, 叶超^{1,2}, 卢克祥^{1,2}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 远洋渔业协同创新中心, 上海 201306; 4. 上海海洋大学 信息学院大学物理实验中心, 上海 201306)

摘要:为进一步验证 LED 水上集鱼灯的使用效果, 将 300W 型 LED 集鱼灯安装到“宁泰 61”鱿钓船, 赴东南太平洋秘鲁外海茎柔鱼渔场进行实际生产, 与使用 2 kW 型金卤灯的“宁泰 62”鱿钓船进行对比试验, 记录相关生产数据并对作业船周围集鱼灯形成的海面上、海面下光场及光谱进行实地测量。结果表明: 右舷 50 盏 LED 集鱼灯在海面上照度为 0.1lx 的离船最远距离可达 35 m, 比使用 50 盏 2 kW 型金卤灯时少 10 m; 50 盏 LED 集鱼灯与 50 盏 2 kW 型金卤灯在海水中的照度分布接近; LED 集鱼灯在海水中的光谱衰减速率明显小于金卤灯。使用 LED 集鱼灯不仅能大幅度减少燃油消耗, 且诱鱼效果接近传统高功率金卤灯, 能够在实际作业中发挥作用。

研究亮点:针对 LED 集鱼灯能否替代金卤灯在实际作业中发挥应有效果, 对两种集鱼灯在船体周围海水中的光场分布和光谱进行测量, 同时对燃油的消耗量和捕捞产量进行记录。研究表明两种灯在鱿钓船周围的钓捕作业范围内, 光场分布差距不大, 两者的捕捞效果无明显差异; 而在节能方面 LED 集鱼灯则效果明显, 认为 LED 灯可以在实际作业中取代传统金卤灯。

关键词: LED 集鱼灯; 照度; 光谱分布; 渔获量
中图分类号: S 972.63
文献标志码: A

目前大部分光诱鱿钓船配备的辅助灯具依然是传统的金卤灯, 渔业企业以及个人不愿冒险使用 LED 集鱼灯。造成这种情况的一方面原因是 LED 集鱼灯本身造价昂贵, 另一方面也是最主要原因即渔业企业以及个人对 LED 集鱼灯现场的实际作用和效果不了解, 担心使用 LED 集鱼灯会对产量带来负面影响。灯具作用效果包括灯光亮度如何, 光线所及深度如何, 以及是否会影响到渔获量和燃油等方面。国内外有很多学者对 LED 集鱼灯进行研发和实验。MATSUSHITA 等提出可以通过对日本近海渔船混合使用 LED 集鱼灯和传统金卤灯来达到节省燃油^[1-2]。YAMASHITA 则验证了 LED 与金卤灯混搭使用方式的捕鱼效果^[3-4]。国内学者则侧重灯光光场分布研究, 将渔船集鱼灯整体作为点光源, 提出

了单船以及多船的集鱼灯合理配置方案^[5-8]。同时部分学者进行了许多的理论研究, 提出了不同的理论计算模型和仿真^[9-12]。为了明确 LED 有无集鱼效果、对产量有无负面影响、光线在海水中的穿透性, 以及水中光谱分布等情况, 本项目进行了 LED 集鱼灯的实船试验和分析, 以期能给渔业从业者和相关研究人员提供参考。

1 材料与方法

1.1 LED 集鱼灯

目前国产 LED 集鱼灯, 大部分为直板型灯具, 所有灯芯安排在同一平面内, 若非进行二次开发, 灯具的配光曲线等光学特性在出厂后不可改变。本项目使用了新型的 300W 型三列式 LED 水上集鱼灯, 见图 1(a), 该灯由上海海洋大

收稿日期: 2014-12-08 修回日期: 2015-04-14

基金项目: 国家高技术研究发展计划(SS2012AA091803); 上海市科委项目(2013ZY-87); 国家远洋渔业工程技术研究中心开放课题(A-0209-14-0506-3)

作者简介: 王伟杰(1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为远洋鱿钓渔具。E-mail: oddapple@yeah.net

通信作者: 钱卫国, E-mail: wqian@shou.edu.cn

学与上海嘉宝协力电子有限公司合作开发。

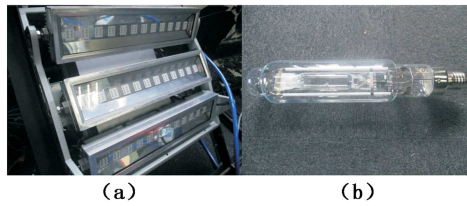


图1 300W型三列式LED集鱼灯(a)与传统金卤灯(b)
Fig.1 300W LED fish-attracting lamp and Metal Halide Lamp (MHL)

LED集鱼灯与传统金卤灯的波普见图2,由图可知,LED集鱼灯在380~400 nm波段的强度明显低于金卤灯,该波段范围属于近紫外线波段,长时间照射会使得渔业捕捞工作者皮肤黑色素沉淀,使皮肤变黑快速老化和损伤。将每一个波段能量值积分,会发现LED集鱼灯的能量相对值总和为285,金卤灯能量相对值总和为1300,尽管金卤灯的能量相对值是LED集鱼灯的4.5倍,但金卤灯功耗则为LED集鱼灯的6.6倍,可见LED集鱼灯发光效率明显高于传统金卤灯。

1.2 实验船参数

舟山宁泰远洋渔业公司“宁泰61号”渔船参

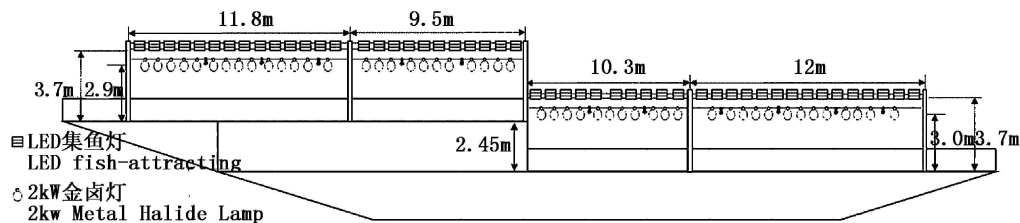


图3 宁泰61号集鱼灯分布示意图
Fig.3 Arrangement of fish aggregation lamps on the squid jigging vessel of NingTai No. 61

1.3 试验数据

2014年6-7月跟随宁泰远洋渔业公司的“宁泰61号”船进行实地测试照度、光谱分布、渔获量(产量)、能耗,试验海域范围为80°09'W-80°59'W、15°05'S-15°50'S;作为对照试验,“宁泰62号”船捕捞海域范围为80°09'W-80°59'W、15°03'S-15°55'S。

1.4 试验方法

使用的仪器包括水下照度计ZDS-10W-2D、Hyperspectral profiler II高光谱剖面仪(加拿大Satlantic公司生产,光谱测量范围:348~802 nm;测量深度0~100 m;水深精度:0.1 m;分辨率:

数如下:总长51.80 m,型宽8.00 m,型深4.00 m;总吨490 t,舱容140 t;主机功率882 kW,副机功率250 kW×2台、150 kW×1台、25 kW×1台,速冻能力11 t/d;金属卤化物灯100×2 kW,LED集鱼灯100×300 W。集鱼灯布置情况参见图3。2 kW金卤灯距离上甲板2.9~3.0 m,距离下甲板5.5 m;灯间距0.58 m;LED集鱼灯距离上甲板3.7 m,距离下甲板6.3 m;灯间距0.1 m。作为其对照组,“宁泰62号”仅配备2 kW型金属卤化物集鱼灯,未配备LED集鱼灯,其他参数均一致。

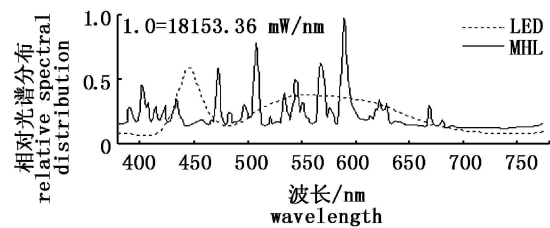


图2 LED集鱼灯与传统金卤灯波普分布比较
Fig.2 Curve of spectrum distribution of LED lamp and MHL

0.01 m)。

在作业过程中对舟山宁泰远洋渔业公司“宁泰61号”安装的LED集鱼灯和2 kW型金属卤化物集鱼灯。测量时,交替开启LED集鱼灯和金卤灯50盏,在船侧的海面设置21个测光点,利用高光谱剖面仪测试不同位置的光谱分布、利用水下照度计ZDS-10W-2D测试照度数据,参见图4。光场实验多次进行,取实验数据最优的一组结果,对同一列数据进行指数方式拟合处理,利用拟合结果计算特定照度值所处位置。本结果的数据测试条件为:浪高0 m、月亮光照强度0.02 lx。

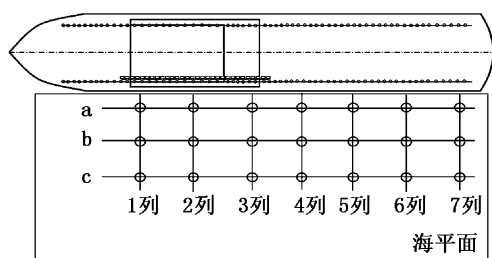


图4 集鱼灯测光示意图

Fig. 4 Illumination measurement of fish aggregation lamps

第 a 行测光线距离船舷 0.5 m; 测光线行间距 2.5 m; 测光行列间距 5 m。

Row a 0.5 m away from ship; distance between rows was 2.5 m; distance between columns was 5 m.

2 试验结果

2.1 照度对比分析

当打开渔船右侧 50 盏 LED 集鱼灯时, LED 集鱼灯所形成的 0.1 ~ 10 lx 的距离大致在船舷一侧的 25 m 至 35 m; 0.1 lx 照度最远距离可达到 35 m, 10 lx 最远距离可达到 25 m, 船侧 15 m 内照度均在 50 lx 以上。当打开渔船右侧 50 盏金卤灯时, 形成的最佳诱鱼区域大致在船舷一侧的 30 ~ 45 m, 0.1 lx 最远距离可达到 45 m, 10 lx 最远距离可达到 30 m, 船沿 20 m 内海面照度均在 50 lx 以上, 测试结果如图 5 所示。

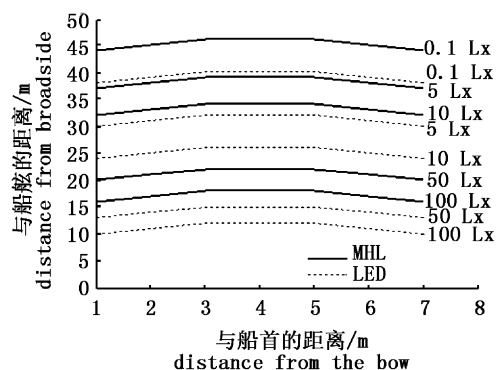


图5 LED 集鱼灯和 MHL 金卤灯在海面上照度分布曲线

Fig. 5 Contours of sea surface irradiance of LED and MHL

两种灯在水中照度存在一定差距。在距离船舷 5 m 处, 0 ~ 20 m 不同深度的照度分布如图 6 所示, LED 集鱼灯照度值为 0.1 lx 最深可至水下

21 m 左右, 仅比金卤灯浅 5 m; 而 LED 集鱼灯照度值为 10 lx 最深可至 12 m 左右, 仅比金卤灯浅 3 m。

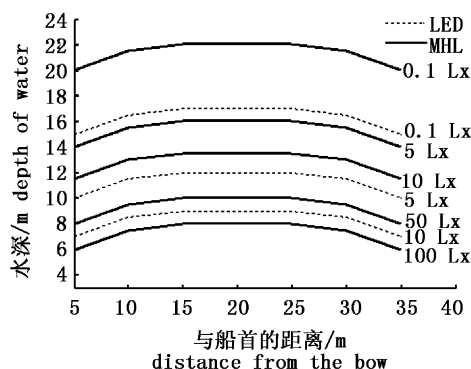


图6 两种灯在距离船舷 5 m 处等照度曲线

Fig. 6 Contours of underwater irradiance of LED and MHL 5 metres apart from ship's rail

在距离船舷 10 m 处, 0 ~ 20 m 不同深度的照度分布如图 7 所示, LED 集鱼灯照度值为 0.1 lx 最深可至水下 16 m 左右, 仅比金卤灯浅 3 m; 而 LED 集鱼灯照度值为 10 lx, 最深可至 8 m 左右, 仅比金卤灯浅 2 m。

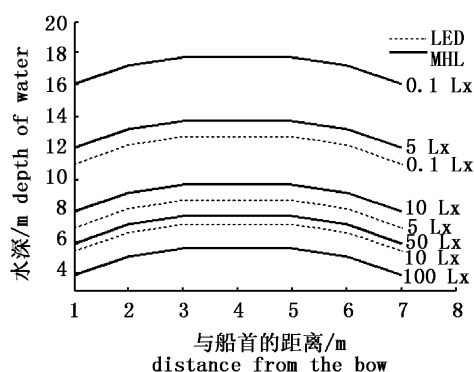


图7 两种灯在距离船舷 10 m 处等照度曲线

Fig. 7 Contours of underwater irradiance of LED and MHL 10 metres apart from ship's rail

2.2 光谱变化及分析

本文针对船载的两种集鱼灯距离船舷 3 m 处, 深度分别为 0.5 m、1.0 m、1.5 m 3 个不同水层形成的光谱为例进行分析对比, 以期了解其在海面和海水中的组成情况和深度对光谱变化的影响。

在海水中, 从水深 0.5 ~ 1.5 m 随着深度增加其光谱能量总和下降, 同等深度 LED 集鱼灯光谱分布能量总和小于金卤灯。从光谱分布组成

LED 集鱼灯光色主要是黄绿色,其次是蓝紫色,在红外光和紫外光波段所占成分则较少,见图 8 (a);而金卤灯则波长在 500 nm、550 nm、580 nm、600 nm 等波段出现峰值,在紫外光和红外光也占有不少的比例,见图 8 (b)。

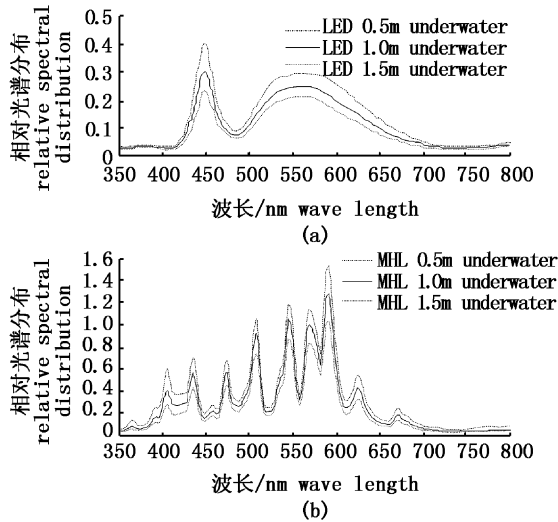


图 8 LED 集鱼灯和金卤灯不同深度光谱分布曲线
Fig.8 Curve of spectrum distribution of LED lamp and MHL in allopelagic water

LED 集鱼灯和金卤灯灯光在海中传递过程中衰减,但衰减速率不一致,衰减速率如图 9 所示。金卤灯形成的光在海水中衰减速率明显大于 LED 集鱼灯。金卤灯在 500 nm、550 nm、580 nm、600 nm 等波段,下降速率也是最快的,而 LED 集鱼灯衰减则稍微缓慢。

2.3 产量与节能效果分析

2.3.1 试验船与参照船产量差异性分析

研究人员跟踪调查的 45 d 期间,同时记录

了两艘船的渔获量如图 10 所示。我们对两船产量进行假设检验, H_0 :使用 LED 集鱼灯对产量不影响, H_1 :使用 LED 集鱼灯对产量有影响,利用 Matlab 分析工具 ttest2 进行双样本差异性检验,其结果为 $H = 0$,故判断两船的产量属于同一正态分布,不存在差异性。

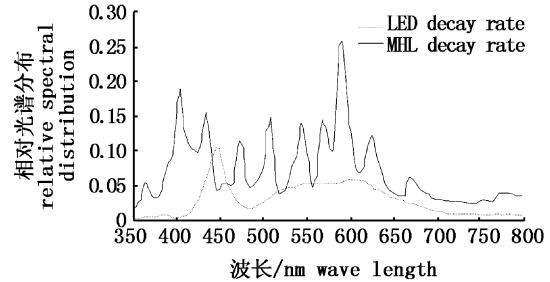


图 9 LED 集鱼灯和金卤灯水中衰减速率
Fig.9 Decay rate of LED lamp and MHL in allopelagic water

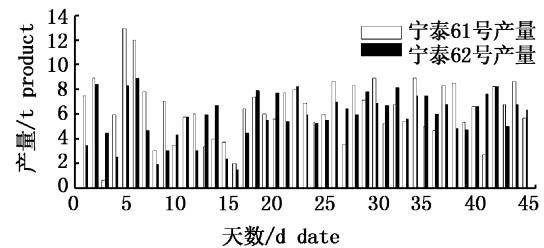


图 10 试验船与参照船每日渔获量
Fig.10 Daily fish yield of experimental ship and the contrast

2.3.2 油耗节省效果对比

2014 年 6 月 1 日 - 7 月 15 日期间,跟随宁泰 61 号船参与实际渔业捕捞作业,记录试验船与参照船的能耗和渔获总量,相关数据见表 1。

表 1 试验船与参照船油耗及总产量

Tab.1 Fuel consumption and total fish yield of experimental ship and the contrast

船名 ship	灯具数量 lights	总功率 power /kW	产量 product /t	油耗 fuel cost /t
宁泰 61 号(示范)	LED × 100 盏	30	286	14
宁泰 62 号(对照)	MHL × 100 盏	200	263	45

宁泰 61 号与 62 号鱿钓船是上海海洋大学 LED 集鱼灯项目直接参与单位浙江宁泰远洋渔业有限公司直属作业船。为了配合测试 LED 集鱼灯在实际捕捞作业过程中的效果,两艘船在同一海域作业,其间距均在 4 海里(n mile)之内,尽

量确保两艘船的作业环境、资源状况等方面维持一致性。同一时间内,作业船的油耗包括主机、冷冻机、钓机和集鱼灯。故采用两条船的油耗量整体对比,可以看出 LED 所节省的油耗量。

在这样的条件下,我们可以看出宁 61 号作

业船 45 d 总共燃油 14 t 左右,总产量达到了 285 t,相比于宁 62 号产量 263 t 并不存在明显差异性。单纯从燃油角度看,LED 集鱼灯在不影响捕捞产量的同时,能够节约燃油约 60% ~ 70%。按照这样计算,南太平洋秘鲁智利外海(离海岸线大于 200 n mile)中国鱿钓船约 300 艘,其中包括从大西洋新转入的大型鱿钓船。以每艘船现有安装 100 盏金卤灯,全部改换到 100 盏 LED 集鱼灯照明系统,则在集鱼灯节能方面每年可以节省将近 6 万吨。

3 讨论

照度值方面,以 0.1 Lx ~ 10 Lx 为最适照度区域^[5-7],LED 集鱼灯在空气中产生的照度与金卤灯相比差距较大;而在海水中,LED 集鱼灯产生的照度与金卤灯相比差距较小。距离船舷 5 m 处水面以下 0 m ~ 10 m,金卤灯相对较高,但是这个深度不是鱿钓作业深度,在海水表层鱿鱼往往容易受到惊吓而躲在更深的水层^[13],甚至有学者提出鱿鱼惧怕强光,由遗传因素决定^[14];而在深度 10 m 以上,两种灯照度很接近,故可以认为 LED 集鱼灯水下照度适用于鱿钓作业。

光谱分布方面,空气中 LED 集鱼灯与金卤灯相比,金卤灯各个波段能量值叠加总和比 LED 集鱼灯的光谱高。然而不是每个波段能量值越高越好,例如 350 ~ 400 nm 波段为紫外线波段,LED 集鱼灯在该段的能量值仅为金卤灯光谱的一半;同样,780 ~ 800 nm 波段为红外线范围,这两个波段光线直接照射人体将造成皮肤快速老化和黑色素沉淀,对诱鱼过程没有太大贡献,LED 集鱼灯在该段的能量值也仅为金卤灯光谱的一半,因此 LED 集鱼灯相对于传统的金卤灯光线,相对更为安全、环保。在水中,LED 集鱼灯各波段衰减率均小于金卤灯,这在很大程度上解释了 LED 集鱼灯在水中的穿透性高于金卤灯的原因。LED 集鱼灯在 480 ~ 650 nm 波段衰减率较小。两种灯光进入海水中,金卤灯的黄绿色部分将快速消失,而 LED 集鱼灯衰减则相对缓慢。

节能方面,LED 集鱼灯相比于金卤灯能节省近 60% 的油耗。LED 集鱼灯和金卤灯光束角存在差异,金卤灯属于“万向光”,而 LED 集鱼灯指向性较强,本文讨论的 LED 集鱼灯,其最大的光束角仅为 112 度。金卤灯灯光将近 75% 的灯光

投射到空气中和甲板上,不仅造成灯光浪费,还造成一定程度上的光污染^[15];LED 集鱼灯则把大部分光投射到海面上。从油耗方面考虑,钱卫国等学者从灯具效率和功率角度曾计算 LED 集鱼灯节能效果,油耗仅为传统金卤灯的 1/3^[16-17]。本论文使用的 LED 集鱼灯使用的水冷系统自身也需要消耗一定燃油,在一定程度上抵消了 LED 集鱼灯的节能效果,故冷却系统能耗也应纳入节能计算过程。

LED 集鱼灯的使用对鱿钓作业船的渔获量并没有产生明显的影响,能够发挥较好的集鱼效果。本文主要证明 LED 集鱼灯的诱鱼效果与水中穿透性,希望能够为渔业从事者和相关研究人员提供一些参考。但 LED 集鱼灯的使用,渔业从事企业以及个人初次资金投入较大,且在诱鱼效果没有大幅度提高的前提下,渔业从事企业以及个人不愿意尝试改装。希望由国家科研平台打造示长期性范渔船,从而引起带动效果,最终使得 LED 集鱼灯完全取代传统高功率金卤灯。

参考文献:

- [1] MATSUSHITA Y, YAMASHITA Y. Effect of a stepwise lighting method termed “stage reduced lighting” using LED and metal halide fishing lamps in the Japanese common squid jigging fishery[J]. *Fisheries Science*, 2012, 78(5): 977-983.
- [2] MATSUSHITA Y, AZUNO T, YAMASHITA Y. Fuel reduction in coastal squid jigging boats equipped with various combinations of conventional metal halide lamps and low-energy LED panels[J]. *Fisheries Research*, 2012, 125-126: 14-19.
- [3] YAMASHITA Y, MATSUSHITA Y, AZUNO T. Catch performance of coastal squid jigging boats using LED panels in combination with metal halide lamps [J]. *Fisheries Research*, 2012, 113(1): 182-189.
- [4] YAMASHITA Y, MATSUSHITA Y. Evaluation of impacts of environmental factors and operation conditions on catch of the coastal squid jigging fishery-Does the amount of light really matter? *Fisheries Engineering*, 2013, 50(2): 103-112.
- [5] 钱卫国,陈新军,雷林. 300W 型绿光 LED 集鱼灯的光学特性[J]. *大连海洋大学学报*, 2012, 27(5): 471-476. QIAN W G, CHEN X J, LEI L. The optical characteristics of 300 W green light LED lamps used for fish aggregation [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2012, 27(5): 471-476.
- [6] 陈新军,钱卫国,郑奕. 鱿钓船灯光有效利用的初步研究[J]. *上海水产大学学报*, 2004, 13(2): 176-179. CHEN X J, QIAN W G, ZHENG Y. Preliminary study on available utilization of light on squid jigging vessel [J].

- Journal of Shanghai Fisheries University, 2004, 13(2): 176-179.
- [7] 沙锋, 钱卫国, 吴仲琪, 等. 鲈鱼灯光围网渔船水上集鱼灯水中照度分布及优化配置的理论计算[J]. 海洋学研究, 2013, 31(1): 85-90.
- SHA F, QIAN W G, WU Z Q, et al. The theoretical calculations of underwater irradiance of upper water fish aggregation lamps and its optimal allocation in light purse seine vessels for chub mackerel (*Scomber japonicus*) [J]. Journal of Marine Sciences, 2013, 31(1): 85-90.
- [8] 王飞, 钱卫国. 智利外海茎柔鱼渔场集鱼灯灯光的配置[J]. 水产学报, 2008, 32(2): 279-286.
- WANG F, QIAN W G. Study on the effective utilization of fish-attracting light power in the fishing ground of *Dosidicus gigas* off Chile [J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(2): 279-286.
- [9] 戴天元, 沈长春, 冯森, 等. 光诱渔船集鱼灯的光照度分布及其适渔性能分析[J]. 福建水产, 2007, 26(1): 27-31.
- DAI T Y, SHEN C C, FENG S, et al. Analysis on intensity of illumination distribution of gathering-fish lamp and its suitable fishing performance in the light-fishing boat [J]. Journal of Fujian Fisheries, 2007, 26(1): 27-31.
- [10] 钱卫国, 官文江, 陈新军. 1kW 国产金属卤化物灯光学特性及其应用[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(3): 439-444.
- QIAN W G, GUAN W J, CHEN X J. The optical characteristics of domestic metal halide lamp (1 kW) and its applications [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(3): 439-444.
- [11] 侍炯, 钱卫国, 杨卢明. 鲈鱼灯光围网渔船合作业间距的理论研究[J]. 南方水产科学, 2013, 9(4): 82-86.
- SHI J, QIAN W G, YANG L M. The theoretical study on suitable spacing between of light purse seine vessels for chub mackerel (*Scomber japonicus*) [J]. South China Fisheries Science, 2013, 9(4): 82-86.
- [12] 官文江, 钱卫国, 陈新军. 应用 Monte Carlo 方法计算水上集鱼灯向下辐照度在一类海水中的分布[J]. 水产学报, 2010, 34(10): 1595-1604.
- GUAN W J, QIAN W G, CHEN X J. Computing underwater downward irradiance of fish aggregation lamps in class I ocean water based on Monte Carlo method [J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(10): 1595-1604.
- [13] MCCORMICK L R, COHEN J H. Pupil light reflex in the Atlantic brief squid, *Lolliguncula brevis* [J]. The Journal of Experimental Biology, 2012, 215(15): 2677-2683.
- [14] BRENNAN C A, MANDEL M J, GYLLBORG M C, et al. Genetic determinants of swimming motility in the squid light-organ symbiont *Vibrio fischeri* [J]. Microbiology Open, 2013, 2(4): 576-594.
- [15] 翁建军, 周阳. 海上光污染对船舶夜航安全的影响及对策分析[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2013, 37(3): 550-552.
- WENG J J, ZHOU Y. Analysis of impact of light pollution at sea upon ships navigation safety at sea and countermeasures [J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2013, 37(3): 550-552.
- [16] 钱卫国, 陈新军, 钱雪龙, 等. 300W 型 LED 集鱼灯光学特性及其节能效果分析[J]. 海洋渔业, 2011, 33(1): 99-105.
- QIAN W G, CHEN X J, QIAN X L, et al. The optical characteristics of LED fish aggregation lamp (300W) and its energy efficiency [J]. Marine Fisheries, 2011, 33(1): 99-105.
- [17] 钱卫国, 陈新军, 钱雪龙, 等. 国产 LED 水下集鱼灯光学特性与节能分析[J]. 渔业现代化, 2010, 37(6): 56-61.
- QIAN W G, CHEN X J, QIAN X L, et al. Analysis of the optical characteristics of domestic underwater fish aggregation LED lamp and its energy saving [J]. Fishery Modernization, 2010, 37(6): 56-61.

Analysis of LED fish-attracting lamp spectrum distribution in water and its catch performance

WANG Weijie^{1,2}, QIAN Weiguo^{1,2,3}, KONG Xianghong⁴, YE Chao^{1,2}, LU Kexiang^{1,2}

(1. *College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 2. *National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 3. *Collaborative Innovation Center for Distant-water Fisheries, Shanghai 201306, China*; 4. *Experimental Center of Physics, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*)

Abstract: To verify catch performance of LED fish-attracting lamp in actual scene, contrast test was made. We equipped LED lamps(300W rated power each) on squid jigging vessel of Ningtai 61 and also sent another squid jigging vessel of Ningtai 62 equipped with Metal Halide Lamps(MHL) as contrast. Both vessels fished in southeast pacific ocean off the coast of Peru at same time. We recorded the yield and fuel every day, meanwhile we tested illumination and spectrum around ship. After comprehensiveness analysis, we reached the conclusion: the equal illumination curve of 0.1 Lx of LED lamps could reach 35 m in vertical direction, 10 m distance less compared with MHL; In vertical direction, illumination distribution of LED is analogous to MHL. LED spectrum distribution power attenuation rate underwater was less than MHL. LED fish lamp becomes really adequate, not just reducing fuel consumption but also having same catch performance compared with MHL light in the process of fishing. LED fish-attracting lamp can be a new light source for replacing traditional fish lamp.

Key words: LED fish-attracting lamp; illumination; spectrum distribution; fish yield