

文章编号: 1674 - 5566(2013)05 - 0778 - 06

秋刀鱼集鱼灯箱内不同灯位的照度实验比较研究

朱清澄^{1,2,3}, 张衍栋¹, 夏 辉¹, 花传祥¹

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306)

摘 要: 通过模拟灯箱光学特性实验, 根据集鱼灯灯箱的平面照度分布, 利用 Matlab 7.0 软件建立秋刀鱼集鱼灯照度分布模型, 对秋刀鱼集鱼灯灯箱内不同灯位的照明效果进行了研究。结果表明: 不同灯位的集鱼灯地面照度随地面距离的增加呈现出先增大后减少的趋势; 而灯箱内不同灯位的集鱼灯光强值变化规律与地面照度的变化规律不同, 在距离原点 1 m 时均出现最大值, 并且上部灯位光强 > 中部灯位光强 > 下部灯位光强; 随着集鱼灯从上端向下端移动, 光强系数 $k(L)$ 逐渐减小。研究发现, 中部灯位光强变化稳定, 在一定程度上可以代表整个灯箱的光强变化情况。

研究亮点: 目前国内外对秋刀鱼的研究内容以资源变动、评估和渔场为主, 也有少量捕捞技术方面的研究, 而在灯光配置研究方面比较少。进行秋刀鱼集鱼灯灯箱内不同灯位的照度实验, 并对其地面照度和光强值进行比较分析, 为秋刀鱼集鱼灯灯箱照度的进一步研究以及促进秋刀鱼渔业的开发利用提供了基础资料。

关键词: 秋刀鱼; 集鱼灯; Matlab 模型; 照度分布

中图分类号: S 973.4

文献标志码: A

秋刀鱼 (*Cololabis saira*) 广泛分布于西北太平洋北部温带水域^[1], 体内营养物质丰富, 味道鲜美, 而且价格便宜, 深受消费者欢迎, 是日本、俄罗斯、韩国和我国台湾省等地的重要捕捞鱼种之一^[2]。现今从事秋刀鱼渔业的国家和地区大部分采用光诱舷提网作业, 由于其操作简便、渔获效率高, 从而得以迅速推广^[3]。其中, 集鱼灯箱和集鱼灯在秋刀鱼渔业中占有十分重要的位置, 灯箱集鱼效果的好坏对渔船的渔业生产有着直接影响。国内外学者们对秋刀鱼的视觉及趋光特性^[4-7]、秋刀鱼渔场的海水光学性质^[8]、秋刀鱼捕捞技术研究^[3,9]等进行大量的研究, 但总的来说, 研究内容以资源变动、评估和渔场为主, 也有少量捕捞技术方面的研究, 在灯光配置研究方面则比较少。

本文根据集鱼灯灯箱的平面照度分布实验, 利用 Matlab 7.0 软件建立秋刀鱼集鱼灯照度分布模型, 对秋刀鱼集鱼灯灯箱内不同灯位的照明效

果进行了比较研究。通过实验对单组集鱼灯箱的光学特性进行研究, 一定意义上反映出灯箱内不同灯位的集鱼灯所形成的照度变化情况, 希望其结果对海上生产实践提供帮助。

1 实验过程和分析方法

1.1 秋刀鱼集鱼灯灯箱装配

以“沪渔 910”秋刀鱼舷提网船灯箱中长条形集鱼灯为研究对象, 进行灯光测试实验, 灯箱分布如图 1 所示。在海上实际生产中, 灯箱成 45° 夹角, 集鱼灯箱的装配高度 (以海平面为基准) 为 3.95 m。

长条灯箱的外观尺寸及架设如图 2、图 3 所示, 每一灯箱内部共装有 24 盏 500 W 白炽集鱼灯, 采用三相交流电的接法, 外部电压 380 V, 灯泡的实际工作电压 220 V。

1.2 实验过程

选取空间大小为 50 m × 30 m × 20 m 的实验

收稿日期: 2013-03-22 修回日期: 2013-06-05

基金项目: 国家科技支撑计划 (2013BAD13B05)

作者简介: 朱清澄 (1960—), 男, 教授, 研究方向为渔具渔法及海洋渔业管理。E-mail: qczhu@shou.edu.cn

场地,实验前在地面上以 1 m × 1 m 为间隔做好标记。

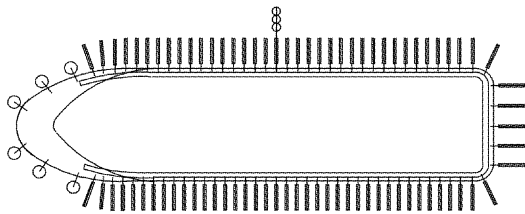


图 1 船只灯箱布局示意图
Fig. 1 The diagram of light box layout

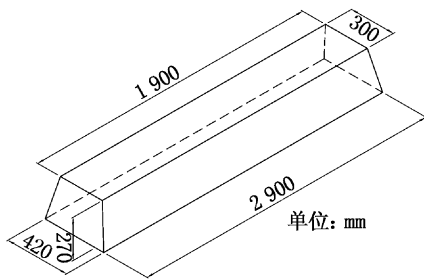


图 2 灯箱外观尺寸示意图
Fig. 2 The diagram of light box external sizes

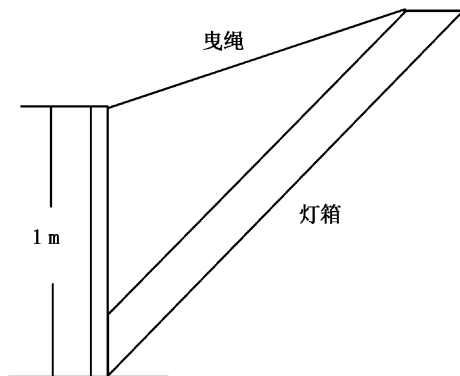


图 3 灯箱架设示意图
Fig. 3 The diagram of light box setting

将一盏集鱼灯安装于灯箱的灯位 A 处(图 4),并将其他灯位的集鱼灯拆下,然后将灯箱以 45°倾角架设于高度 $H = 3.95$ m 处,向地面投射(图 5)。

测量集鱼灯直射方向上离原点距离分别为 $L = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16$ m 处的水平地面照度,并记录,每个灯位重复测量 3 次,每次实验的时间均为晚上 21:00 - 23:00。

将灯箱卸下,将集鱼灯分别安装在 B 处、C

处,重复上述测量过程。

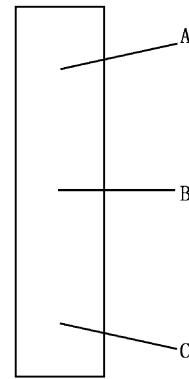


图 4 灯箱中集鱼灯灯位示意图
Fig. 4 The position of lamp in light boxes

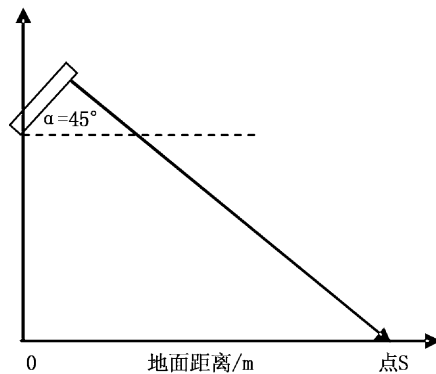


图 5 S 点照度测量示意图
Fig. 5 The illuminance measurement diagram of S point

1.3 数据处理

1.3.1 照度公式推导

点光源计算公式^[10-11]:

$$E_v(L) = \frac{I(L)}{r^2} \cos\alpha \quad (1)$$

式中: $I(L)$ 是与点光源距离 L 时的光亮度 (cd/m^2); r 为点光源到点 P 的距离 (m); α 为点光源在 P 点的入射角。

另外,由三角几何关系:

$$r^2 = L^2 + H^2 \quad (2)$$

$$\cos\alpha = \frac{H}{\sqrt{L^2 + H^2}} \quad (3)$$

得出地面照度大小随距离公式:

$$E_v(L) = \frac{I(L) \cdot H}{(L^2 + H^2)^{3/2}} \quad (4)$$

式中: $E_v(L)$ 为测量点的照度 (lx); $I(L)$ 为光源在

测量点方向上的光强 (cd); r 为光源与测量点的距离 (m); H 为集鱼灯灯箱的高度 (m); α 为入射角。

将方程(4)变形,得到地面光强值随距离(L)的变化公式:

$$I(L) = E_v(L) \cdot \frac{(L^2 + H^2)^{\frac{3}{2}}}{H} \quad (5)$$

式中: $E_v(L)$ 为测量点的照度(lx); L 是光源与测量点之间的距离(m); H 是集鱼灯灯箱的高度(m)。

为了进一步对各灯位点的光强变化进行比较,特引入相对光强系数 $k(L)$ 的概念,公式如下:

$$k(L) = \frac{I_A(L)}{I(L)} \quad (6)$$

式中: $I(L)$ 为光源在测量点方向上的平均光强(cd); $I_A(L)$ 为光源在测量点处的光强大小(cd)。

$k(L)$ 表示在该点处的光强值与灯箱各灯位间的平均光强的比值,在一定意义上能够反映光强值随距离 L 变化的稳定性大小。

1.3.2 背景光及漫反射影响消除

由于实验在室内场所进行,在实验过程中,实验光源所发出的一部分光线遇到墙壁和顶棚发生漫反射现象以及受其他背景光的影响。所以,最后所采用的地面照度数据需要消除背景光及漫反射等其他因素的影响。背景光影响公式如下:

$$E_v = E_A - E_0 \quad (7)$$

式中: E_A 是实验所测得的光照度(lx); E_0 是周围的平均光照度(lx)。

1.3.3 拟合照度方程

利用实验所得 $E_v(L)$ 数据,通过 Matlab 7.0 软件对实验数值进行回归,拟合得出集鱼灯装配在 A, B, C 三灯位时,地面的照度方程分别为:

$$E_{vA}(L) = \frac{10^4}{-0.2943L^3 + 16.5819L^2 - 22.1230L + 95.9354} \quad (8)$$

$$E_{vB}(L) = \frac{10^4}{-0.9142L^3 + 24.2187L^2 - 33.4163L + 90.7476} \quad (9)$$

$$E_{vC}(L) = \frac{10^4}{-1.7152L^3 + 34.9979L^2 - 63.4976L + 105.5050} \quad (10)$$

2 结果

2.1 不同灯位的集鱼灯地面照度分布

对集鱼灯装配在灯箱 A、B、C 灯位时的地面照度随距离 L 的变化进行回归分析(图 6)。

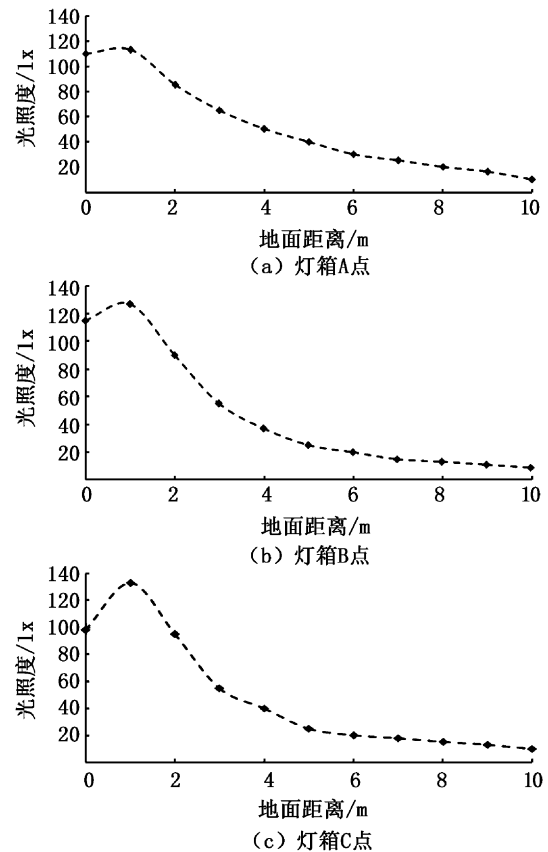


图 6 A、B、C 灯位的集鱼灯照度分布示意图

Fig. 6 The Illuminance distribution diagram of the lamps in different positions

图 6(a)是集鱼灯装配在灯箱 A 点时的地面照度随距离 L 的变化情况。可知,A 灯位点的地面照度随地面距离(L)的增加呈现出先增大后减少的趋势,所得拟合曲线的最大照度位置在 $L = 0.70$ m 处,相应照度为 113.03 lx,此后随着距离的增加缓慢降低。

图 6(b)是集鱼灯装配在灯箱 B 点时的地面照度随距离 L 的变化情况。该灯位点的照度变化介于 A, C 两点之间,在 $L = 0.74$ m 处,有最大照度 126.73 lx。

图 6(c)是集鱼灯装配在灯箱 C 点时的地面照度随距离 L 的变化情况。C 灯位点的光照度也呈现出随地面距离(L)的增加先增大后减少的趋

势,照度随距离的增加迅速增大,并于 $L = 1.00$ m 处,取得最大照度 132.82 lx,随后随距离增大迅速降低。

2.2 不同灯位的集鱼灯地面光强的变化

根据实验中测得各灯位点在不同距离的

照度数据,并不能直接对各灯位的照明特点进行比较。因此,需要集鱼灯箱不同灯位相应测量点的光强值,进而讨论随灯位在灯箱内的变化,照明效果的变化情况。将测量所得的实验数据分别代入求得各灯位点的光强情况(表 1)。

表 1 光强随距离变化表

Tab. 1 The light intensity variation with distance

L/m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
$I_A(L)/cd$	2 465.28	2 701.18	2 284.88	2 266.99	2 185.20	1 872.95	1 890.20	1 910.78	2 030.10	2 210.85	2 274.67	2 190.28
$I_B(L)/cd$	2 187.68	2 505.50	2 309.40	1 853.53	1 624.78	1 611.56	1 685.05	1 798.37	1 902.73	2 056.51	2 370.97	1 991.462
$I_C(L)/cd$	1 536.00	2 383.16	2 057.18	1 718.75	1 448.15	1 443.90	1 593.65	1 703.15	1 788.85	2 149.51	2 498.72	1 847.365
$I(L)/cd$	2 062.99	2 529.95	2 217.15	1 946.42	1 752.71	1 642.81	1 722.97	1 804.10	1 907.23	2 138.96	2 381.45	2 009.704
$k_A(L)$	1.195 005	1.067 682	1.030 546	1.164 693	1.246 755	1.140 095	1.097 06	1.059 132	1.064 426	1.033 611	0.955 161	1.095 833
$k_B(L)$	1.060 443	0.990 339	1.041 605	0.952 277	0.927 009	0.980 979	0.977 994	0.996 823	0.997 64	0.961 454	0.995 598	0.989 287
$k_C(L)$	0.744 552	0.941 979	0.927 848	0.88 303	0.826 236	0.878 926	0.924 946	0.944 045	0.937 934	1.004 935	1.049 241	0.914 879

由图 7 可以看出,集鱼灯装配在 A、B、C 三灯位时,其地面光强变化规律与地面照度的变化规律存在很大的不同。各灯位点的光强均在 $L = 1$ m 附近出现最大光强值,随着距离 L 的增大,此后各灯位点光强迅速减小,在距离 $L = 4$ m 附近取得最小值,最后各灯位的光强又随着距离的增大缓慢增大^[12-13]。

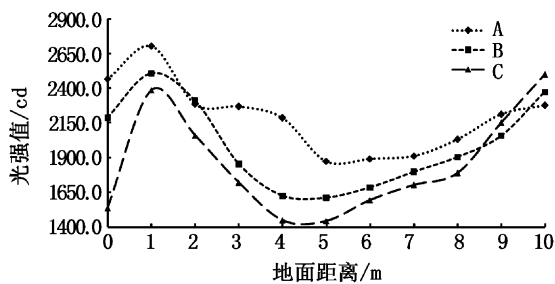


图 7 光强值随距离的变化示意图

Fig. 7 Light intensity changing with distance

此外,各灯位点的相应光强大小基本上满足: $I_A(L) > I_B(L) > I_C(L)$ 。A 灯位点的光强变化在 1 800 ~ 2 700 cd,平均光强为 2 190.28 cd;B 灯位点的光强变化在 1 600 ~ 2 500 cd,平均光强为 2 190.28 cd;C 灯位点的光强变化在 1 400 ~ 2 400 cd,平均光强为 1 847.37 cd;3 个灯位点的平均光强大小为:

$$\bar{I}(L) = \frac{I_A(L) + I_B(L) + I_C(L)}{3} = 2009.70 \text{ cd}$$

2.3 不同灯位的集鱼灯地面光强稳定性变化

为了进一步对各灯位点的光强变化进行比较,特引入相对光强系数 $[k(L)]$ 的概念, $k(L)$ 在

一定意义上能够反应光强值随距离 L 变化的稳定性大小。由图 8 中可以看出,A 灯位点的 $k(L)$ 在近原点的地方是 3 条线中最大的,随着距离的增加先减后增,在 $L = 4$ m 附近达到最大值,此后缓慢降低;而 C 灯位点的 $k(L)$ 在近原点的地方是 3 条线中最小的,随着距离的增加先增后减,在 $L = 4$ m 附近达到最小值,此后逐渐增大;B 点的相对光强系数 $k(L)$ 则始终在 1 附近,没有明显的变化。

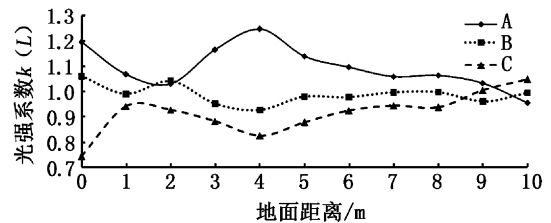


图 8 光强系数 $k(L)$ 随距离的变化示意图

Fig. 8 $k(L)$ changing with distance

图 9 反映了距离 L 在 1 ~ 10 m 内,集鱼灯位于灯箱内不同灯位时的平均 $k(L)$ 变化情况,A 点为灯箱上部灯位,C 点为灯箱下部灯位。实验中,我们将 A、B、C 灯位分别定在了灯箱中的 0.25, 0.50 和 0.75 处,则:A 灯位的平均光强系数为 1.096 ± 0.080 ;B 灯位的平均光强系数为 0.989 ± 0.036 ;C 灯位的平均光强系数为 0.915 ± 0.078 。

可以看出,随着集鱼灯灯位从上端向下端移动, $k(L)$ 逐渐减小,而误差则是两端比较大,中间较小。B 灯位的集鱼灯平均光强系数约为 0.99,

且变化幅度较小,因此,在一定程度上可以代表整个灯箱的光强变化情况。

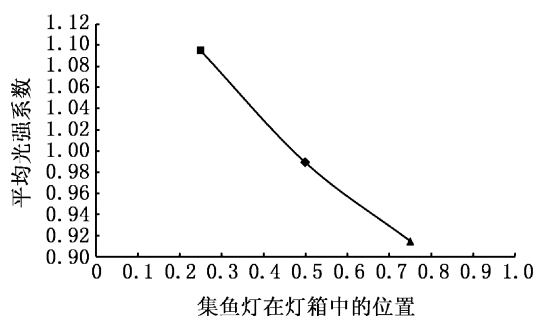


图9 不同灯位的集鱼灯平均光强系数变化示意图

Fig.9 Average $k(L)$ changing in different positions of lamps

3 结论与分析

秋刀鱼集鱼灯箱内不同灯位的地面照度及其光强值在直射方向上随地面距离(L)的增加呈现出先增大后减少的趋势,可以利用这种照度分布及光强值变化规律,再结合秋刀鱼光诱集性大小确定光诱最适照度和光强值,以达到最佳诱集捕捞产量。

灯箱内位置靠下灯位的集鱼灯,其所形成的海面光场波动可能比靠上位置的大得多,单个集鱼灯在近原点附近的照度梯度甚至可以达到 $30 \sim 50 \text{ lx/m}$,而平均的照度梯度则在 $10 \sim 30 \text{ lx/m}$,鱼群进入该区域很容易受到惊吓而逃跑;然而随着距离的增加,其 $k(L)$ 值逐渐增大,反映出其相对光强的变化,随着距离的增大,下部集鱼灯对远距离的照明效果作用越发重要,在诱集鱼群上的作用相比其他位置要大。而位置靠上的集鱼灯在作用上则恰好相反,其在近船附近海域能够帮助形成稳定的光场,有利于鱼群的稳定。中间位置的集鱼灯的光学特点在上、下两位置灯之间, $k(L) \approx 0.99$,且振幅很小,在一定意义上讲,可以代表整个灯箱的光学特性。因此,以诱鱼为主的灯箱,可适当增加下部集鱼灯的数量,而以集鱼为主的灯箱,则可以适当增加上部灯的数量。

A 灯位点的光强系数 $k(L)$ 在近原点的地方在 3 条线中最大,随着距离(L)的增加先减后增,

并在 $L = 4 \text{ m}$ 附近达到最大,此后逐步降低;而 C 灯位点的 $k(L)$ 则相反,在近原点时 $k(L)$ 最小并在 $L = 4 \text{ m}$ 附近有最小值;B 灯位点的照度系数 $k(L)$ 则没有明显的变化。之所以形成这样的分布状况,可能与灯箱的上壁、下壁对灯光的反射有关,当 L 较小时,由于 A 点距离上壁较近,更容易形成较强的反射,而下壁的反射在距离 L 较远时才能显现出来,因此 C 点 $k(L)$ 在 $L > 9 \text{ m}$ 时才逐渐超越 A 点。另外,在 $L = 4 \text{ m}$ 处形成极大(小)值,是由于各照度点的高度 H 均约为 4 m ,而灯箱的倾角为 45 度时,刚好在该点形成直射。由于受到实验条件的限制,没有从多个角度和层次对秋刀鱼集鱼灯周围的光照度及其光强值进行分析研究,因此需要在今后的研究中进一步深入。

参考文献:

- [1] WATANABE Y, NANCY C H. Larval production and mortality of Pacific saury (*Cololabis saira*) in the northwestern Pacific Ocean[J]. Fish Bull, 1989, 87(3): 601-613.
- [2] HUBBS C, WISNER R L. Revision of the sauries (*Pisces Scomberesocidae*) with description of two new genera and one new species[J]. Fish Bull, 1980, 77(3): 521-566.
- [3] 许巍, 朱清澄, 张先存, 等. 西北太平洋秋刀鱼舷提网捕捞技术[J]. 齐鲁渔业, 2005, 22(10): 43-45.
- [4] 有元贵文. 小型乌贼垂钓光力适正化探讨事业实态调查实证调查报告书总汇[R]. 全国渔业协同组合联合会, 1996: 1-34.
- [5] 有元贵文. 魚類の生態からみた漁法の検討サンマと集魚灯[J]. 水産の研究, 1985, 4(14): 34-38.
- [6] 茅绍廉. 鱼类行动与捕鱼技术[M]. 北京: 海洋出版社, 1985: 35-37.
- [7] 林秀明, 西村实, 池龟安道. 月令与渔况的关系[J]. 北水试月报, 1949, 6(7): 1-4.
- [8] 崔渐珍, 中村善彦, 有元贵文. 集魚灯による小型イカ釣り漁船周辺の海面照度分布[J]. 日本水产学会誌, 1997, 63(2): 59-64.
- [9] 张勋, 徐宝生, 郁岳峰, 等. 秋刀鱼舷提网设备及改装研究[J]. 渔业现代化, 2005(4): 42-43.
- [10] 钱卫国, 王飞. 集魚灯海面照度计算方法的比较研究[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2004, 23(4): 285-290.
- [11] 钱卫国, 孙满昌. 大型专业鱿钓渔船适合作业间距的研究[J]. 大连水产学院学报, 2006, 23(4): 285-290.
- [12] 阮沈勇, 王永利, 桑群芳, 等. MATLAB 程序设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 144-195.
- [13] GERALD R. 数值方法和 MATLAB 实现与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 316-356.

Comparative study of different saury aggregation light experiment

ZHU Qing-cheng^{1,2,3}, ZHANG Yan-dong¹, XIA Hui¹, HUA Chuan-xiang¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Engineering Research Center for Pelagic Fishery, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: This article, through imitating the experiment of the optical properties of lamp boxes, depending on the collection experiments of different fish aggregation lamp boxes, and using matlab 7.0 software building the illuminance distribution model of saury aggregation lights, studies and contrasts the lamp effect of different light illumination in fishing gathering lamp. The results show that: different ground illuminance distribution of fishing gathering lamp with distance increasing increases first and then decreases; and the change laws of lamp strong values and the illumination distribution are different in different fish collection lights. There is the maximum at the distance of 1 meter, and the light intensity meets: high light intensity > middle light intensity > lower light intensity; with the light moving from the upper to the lower, the light intensity coefficient of $k(L)$ decreases gradually. It shows that the middle light intensity changes stability and it could represent the changes of the whole lamp boxes to some extent.

Key words: *Cololnbis saira*; fish aggregation lamp; Matlab model; illuminance distribution