

DOI: 10.12264/JFSC2024-0028

## LED灯对鲷刺网捕获效率及副渔获物组成的影响

窦一麟<sup>1</sup>, 于梦杰<sup>1</sup>, 刘淑德<sup>2</sup>, 唐衍力<sup>1</sup>

1. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 山东省渔业发展和资源养护总站, 山东 烟台 264003

**摘要:** 为探究LED灯对鲷(*Mugil cephalus*)刺网捕获效率及副渔获物组成的影响, 于2023年5—6月在荣成北部海域使用布设5种不同光色(红、白、黄、蓝、绿)和3组不同数量(2、4、6盏)LED灯的三重刺网进行捕捞实验。以单位捕捞努力量渔获数量(CPUE)和单位捕捞努力量渔获重量(WPUE)为指标, 采用广义线性混合效应模型(GLMM)评估LED灯对鲷捕获效率的影响。结果表明, LED灯会对鲷捕获效率产生显著影响, 且不同光色和数量对鲷捕获效率的影响存在差异。对比不同光色的LED灯, 绿色LED灯效果最佳, 与未布设LED灯的对照网相比, 布设2、4、6盏绿灯的实验网鲷CPUE分别显著提高了50.72%、97.46%和98.07% ( $P < 0.05$ ), WPUE分别显著提高了39.38%、80.54%和84.63% ( $P < 0.05$ ), 其中, 布设4盏和6盏LED灯的实验网鲷单位捕捞努力量渔获数量(CPUE)和单位捕捞努力量渔获重量(WPUE)差异不显著 ( $P > 0.05$ )。实验网与对照网捕获鲷的体长分布均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。同时, 布设LED灯提高了花鲈(*Lateolabrax maculatus*)和许氏平鲷(*Sebastes schlegelii*)等副渔获物的捕获效率; 特定光色的LED灯有助于减少副渔获物中花鲈和许氏平鲷的幼鱼比例。研究认为, 绿色LED灯在鲷刺网中具有较好的应用前景。本研究可为LED灯在鲷刺网渔业中的合理应用提供参考。

**关键词:** LED灯; 刺网; 鲷; 捕获效率; 副渔获物

中图分类号: S972

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2024)03-0356-12

鲷(*Mugil cephalus*)隶属鲷形目(Mugiliformes)、鲷科(Mugilidae)、鲷属(*Mugil*), 广泛分布于我国渤海、黄海、东海和南海海域及河口交汇处, 是我国重要的经济鱼种之一<sup>[1]</sup>。2015—2021年, 鲷年产量为7.3~12.7万t<sup>[2]</sup>。鲷的主要捕捞渔具为围网、钓具和刺网。其中, 刺网因其操作简单、机动灵活、对渔船动力要求低以及较好的选择性, 在沿海鲷捕捞中被广泛应用<sup>[3]</sup>。渔民为增加经济收入一般会选择增加作业次数和网具数量或延长作业时间来提高渔获量。但这些方式并未有效改善渔民的经济效益。此外, 在近海大规模布设刺网和增加作业时长会增加网具丢失的风险, 造成更为严重的“幽灵捕捞”问题。同时, 刺网数量增

加会增大扫海面积, 导致副渔获物增加, 对生物多样性产生不利影响。

LED集鱼灯作为一种提高目标物种捕获效率的措施, 在全球范围内被广泛应用于不同类型、不同规模的渔业中, 其主要利用目标物种的趋光性来吸引、聚集和诱捕鱼类<sup>[4]</sup>。LED灯在大规模鱿钓和围网渔业中已取得较好的效果<sup>[5-8]</sup>, 近年来, LED灯的应用范围扩展到小规模渔业, 如笼壶、陷阱、钓和刺网渔业等<sup>[9-11]</sup>。在刺网渔业中, Yu等<sup>[12-13]</sup>通过在刺网浮子网上配置不同光色的LED灯显著提高了许氏平鲷(*Sebastes schlegelii*)、大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)、日本鳀(*Charybdis japonica*)等经济物种的捕获效率, 且结果表明不

收稿日期: 2024-01-22; 修订日期: 2024-02-08.

基金项目: 山东近海渔业资源调查与监测项目(37000023P11002710002C).

作者简介: 窦一麟(2000-), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔具选择性. E-mail: 104446035@qq.com

通信作者: 刘淑德, 高级工程师, 研究方向为渔业资源调查与评估, E-mail: shude28@163.com; 唐衍力, 教授, 研究方向为渔具选择性、人工鱼礁与海洋牧场, E-mail: tangyanli@ouc.edu.cn

同物种的趋光性存在一定差异。王以尧等<sup>[14]</sup>研究发现幼鲷对不同光照强度呈均等反应,但更偏好暗光。刘理东等<sup>[15]</sup>采用电生理方法研究鲷的视觉特性,发现鲷光谱敏感峰值在 480~530 nm 之间。这些研究结果表明鲷对不同的光色光强产生不同的趋光反应(正趋光性、负趋光性、中性趋光性)。除提高捕获效率外,LED 灯还在减少多种渔业副渔获物方面得到应用<sup>[16-18]</sup>。其可能导致副渔获物种类和数量的变化,进而对生物多样性产生一定的影响<sup>[19]</sup>。

目前,国内对于 LED 灯的应用研究主要集中在围网、鱿钓和延绳钓渔业<sup>[20-21]</sup>,在沿海小规模

渔业中的应用研究较少,特别是在鲷刺网渔业中,尚未见报道。本研究首次探究 LED 灯在鲷刺网渔业中的适用性,评估不同光色和数量的 LED 灯对鲷捕获效率及副渔获物组成的影响,为 LED 灯在鲷刺网渔业中的合理应用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 海上实验

本实验于 2023 年 5—6 月在山东省荣成北部海域(122°34'00"E~122°35'30"E, 37°24'00"N~37°25'00"N)进行,网具布设点如图 1 所示,作业水深 5~10 m。

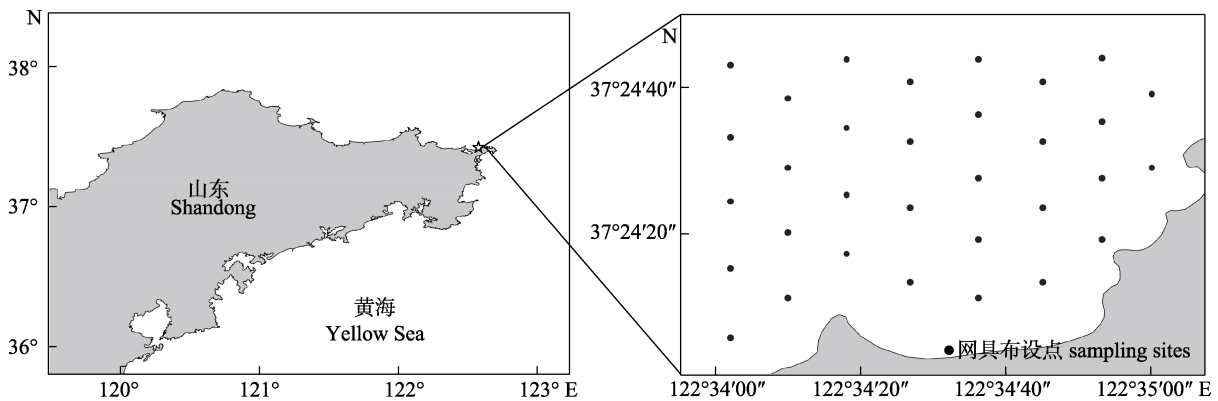


图 1 实验海域及网具布设点

Fig. 1 Experimental sea area and sampling sites

实验网具为尼龙材料的三重刺网,主尺度 50 m×1.2 m,内网网目尺寸 85 mm,缩结系数 0.5,网线粗细 0.20 mm;外网网目尺寸 300 mm,缩结系数 0.6,网线粗细 0.45 mm。每航次实验放置 12 片刺网,每 2 片刺网串联为一组,间隔为 5 m。随机挑选 5 组刺网作为实验组,分别布设红、白、黄、蓝、绿 5 种光色的 LED 灯。剩余 1 组刺网作为对照组,无 LED 灯。每组刺网间隔 500 m,以避免不同组之间产生影响(图 2a)。每航次实验网上布设 LED 灯数量相同,每片实验网布设 2、4、6 盏灯分别进行 8、12、8 航次实验,灯间隔为 20、10、8 m(图 2b)。LED 灯由两节 5 号电池作为电源,功率 0.6 W,照明模式为常亮,可持续照明时长约为 15 d。由光谱照度计(HopooColor A001)测量的 LED 灯光谱分布如图 3 所示,红、白、黄、蓝、

绿灯的峰值波长分别为 630 nm、449 nm、594 nm、454 nm、520 nm。每次放网时间为 16:00~17:00,收网时间为次日 6:00~7:00,网具平均浸泡时长 14 h。每次收网后,对所有渔获物进行分类、种类鉴定以及计数,并对体长、体重等生物学参数进行测量。

### 1.2 数据分析

**1.2.1 GLMM 分析** 以 CPUE 和 WPUE 为指标,采用广义线性混合效应模型(GLMM)评估 LED 灯对鲷捕获效率的影响。本研究中,将 CPUE 定义为不同组别每张刺网所捕获鲷的平均数量,将 WPUE 定义为不同组别每张刺网所捕获鲷的平均重量,计算公式为:

$$CPUE = \frac{TN_{ij}}{n_{ij}}$$

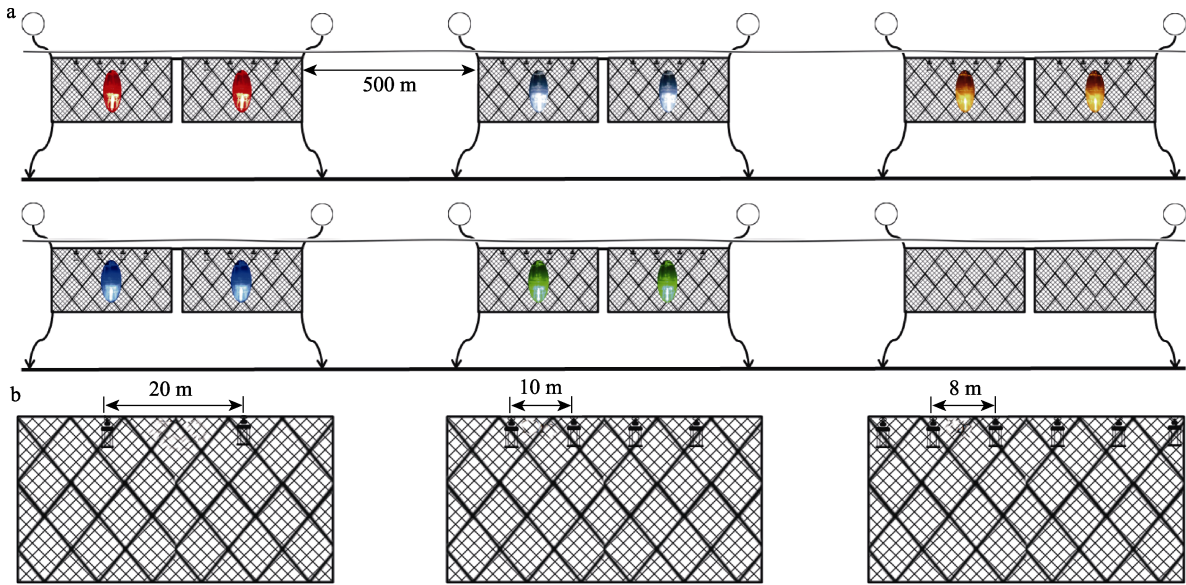


图 2 实验设计(a)和 LED 灯布设方式(b)

Fig. 2 Experimental design (a) and LED lamp layout mode (b)

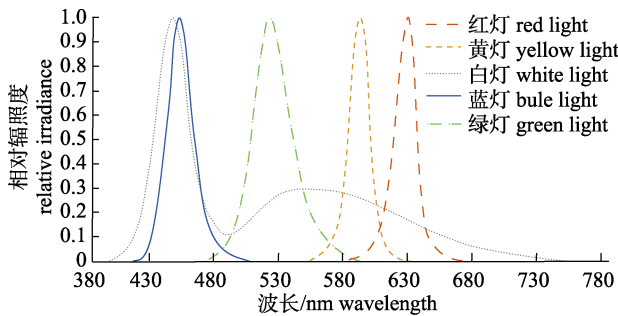


图 3 LED 灯的光谱分布

Fig. 3 The spectrum distribution of LED lights

$$WPUE = \frac{TW_{ij}}{n_{ij}}$$

式中,  $TN_{ij}$  表示第  $i$  航次中布设第  $j$  种灯光的刺网所捕获鲻的总数量(尾),  $TW_{ij}$  表示第  $i$  航次中布设第  $j$  种灯光的刺网所捕获鲻的总重量(kg),  $n_{ij}$  表示第  $i$  航次中布设第  $j$  种灯光的刺网数量(net)。

GLMM 的模型公式为:

$$Y = F(y; \mu)$$

$$g(\mu) = X\beta + Z\alpha$$

式中,  $Y$  是因变量,  $F(y; \mu)$  是因变量的分布函数,  $\mu$  是分布的均值参数,  $g()$  是一个链接函数(link function), 用于将  $\mu$  转换为一个由线性组合的固定效应和随机效应共同构成的函数,  $X$  和  $Z$  分别是固定效应和随机效应的设计矩阵,  $\beta$  是由固定效应

参数向量,  $\alpha$  是由随机效应参数向量。构建模型时, 将 CPUE 和 WPUE 作为因变量, LED 灯光色和数量作为固定效应, 航次作为随机效应, 根据赤池信息准则和贝叶斯信息准则来判断正态分布、伽玛分布、泊松分布以及负二项分布的拟合优劣程度, 选取最优拟合进行数据分析。

**1.2.2 K-S 检验** 采用 Kolmogorov-Smirnov 假设检验比较布设不同灯光的刺网所捕获的各种渔获物体长分布是否存在显著性差异。

**1.2.3 单因素方差分析** 采用单因素方差分析比较布设不同灯光的刺网所捕获的各种副渔获物数量是否存在显著性差异。以上所有统计学分析均在 SPSS 26.0 软件中完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 渔获物结构

**2.1.1 渔获概况** 进行了 28 个有效航次的调查, 共捕获鲻 1549 尾, 重 1655.57 kg。不同灯光布设类型的刺网所捕鲻的数量、体长范围、平均体长、平均体重及标准差如表 1 所示。布设红、白、黄、蓝、绿色 LED 灯的实验网以及无 LED 灯的对照网分别捕获鲻 212 尾、256 尾、237 尾、277 尾、369 尾、198 尾。各航次鲻 CPUE 和 WPUE 如表 2 所示。

表 1 鲮渔获数据  
Tab. 1 Catch data of *Mugil cephalus*

 $\bar{x} \pm SD$ 

光色 light color	数量/ind amount	体长范围/mm length range	体长/mm body length	体重/g body weight
红 red	212	337-550	430.48±42.26	1115.24±305.46
白 white	256	338-551	429.22±43.98	1072.44±282.44
黄 yellow	237	335-509	427.35±40.91	1061.44±265.62
蓝 blue	277	320-550	424.22±44.04	1032.47±286.37
绿 green	369	321-533	424.58±44.05	1038.78±318.65
无光 colorless	198	333-531	428.79±49.93	1135.14±368.52

表 2 各航次鲮的单位捕捞努力量渔获数量和重量  
Tab. 2 Catch per unit of fishing effort (CPUE) and catch weight per unit of fishing effort (WPUE) of *Mugil cephalus* in different trips

航次 trip	LED 灯数量 LED lamp number	CPUE/(ind/net)						WPUE/(kg/net)					
		红 red	白 white	黄 yellow	蓝 blue	绿 green	无 colorless	红 red	白 white	黄 yellow	蓝 blue	绿 green	无 colorless
1	4	4	5.5	4.5	5.5	7.5	3	3.3	6.1	4.68	5.39	7.74	3.51
2	4	4	5	4.5	5.5	7.5	4.5	4.91	5.00	3.95	5.38	7.88	5.62
3	4	3.5	5	5	5	7	3	3.72	5.24	5.90	5.73	7.29	3.16
4	4	3.5	4	4	5	6.5	3.5	3.50	3.89	4.03	5.40	7.89	4.73
5	4	4	5	4.5	5.5	7.5	4	4.84	5.32	5.04	5.00	7.94	4.24
6	4	4	5	4.5	6	7	3	5.14	5.85	5.06	5.93	6.83	2.82
7	4	3.5	5	4.5	5	7	4	3.44	5.28	4.83	5.19	7.37	4.02
8	4	3.5	4	4	5	6	3.5	4.26	4.67	4.05	5.16	5.87	4.34
9	4	4	5	4.5	5.5	7.5	3.5	4.28	5.43	5.24	5.70	7.54	4.37
10	4	4	4.5	4.5	5.5	7	3	4.41	5.52	4.81	5.97	6.70	2.99
11	4	3.5	5	4.5	5	7	3.5	3.92	5.60	3.49	5.05	8.28	4.42
12	4	3.5	4.5	4	5	6.5	4	4.15	4.74	4.19	5.82	6.69	4.48
13	6	4.5	4.5	4.5	4.5	8	4	4.01	4.70	4.66	4.35	8.48	4.68
14	6	4.5	5	4.5	5	8	4	5.44	4.82	3.91	5.03	8.15	5.25
15	6	3.5	5	5.5	4.5	7	3	3.66	5.05	6.47	5.03	7.39	3.21
16	6	4.5	4.5	4.5	5.5	7.5	4	5.48	4.52	5.02	4.92	7.81	4.21
17	6	4	5	4.5	5.5	7.5	3	5.13	5.67	5.08	6.45	7.24	2.75
18	6	3.5	5	4.5	5	7	4	3.52	5.25	4.79	5.12	7.31	4.02
19	6	3.5	4	4	5	6.5	3.5	4.27	4.75	4.09	5.26	6.50	4.25
20	6	4	5	4	5.5	7.5	3.5	3.99	5.22	4.60	5.77	7.71	4.41
21	2	3	4	3.5	4.5	5.5	4	2.93	4.35	3.95	4.17	5.87	4.65
22	2	4.5	4.5	4	5	5.5	4	5.24	4.20	3.62	4.95	6.16	5.23
23	2	3.5	4	4.5	4	5	3	3.67	4.04	5.24	3.90	5.41	3.09
24	2	4	4	3	4.5	5.5	3.5	4.99	4.07	3.13	3.96	5.93	3.68
25	2	4	3	4	4.5	4.5	3	5.27	3.41	4.61	5.22	3.78	2.75
26	2	3	5	4	4	5	3.5	3.06	5.36	4.42	4.34	5.49	3.59
27	2	3	3.5	3	4.5	5	3	3.59	4.14	2.90	4.54	4.97	3.75
28	2	4	4.5	3.5	3.5	5.5	3.5	4.03	5.06	4.02	3.76	5.44	4.16

对实验数据进行拟合, 得到鳊体长( $L$ )与体重( $W$ )的相关关系。鳊的体长与体重呈现幂函数关系, 如式(1)和图 4 所示。

$$W = 2 \times 10^{-4} L^{2.5759} (R^2 = 0.9144) \quad (1)$$

**2.1.2 体长分布** 体长数据以 10 mm 为间隔进行频率统计, 不同灯光布设类型的刺网所捕鳊体长分布如图 5 所示。总体上鳊的体长分布均呈单峰分布。K-S 检验结果显示, 布设不同光色和数量 LED 灯的刺网所捕鳊体长分布差异不显著( $P>0.05$ )。

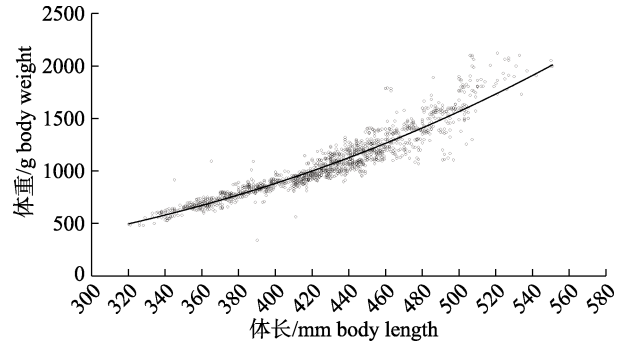


图 4 鳊体长与体重的关系

Fig. 4 Length-weight relationship of *Mugil cephalus*

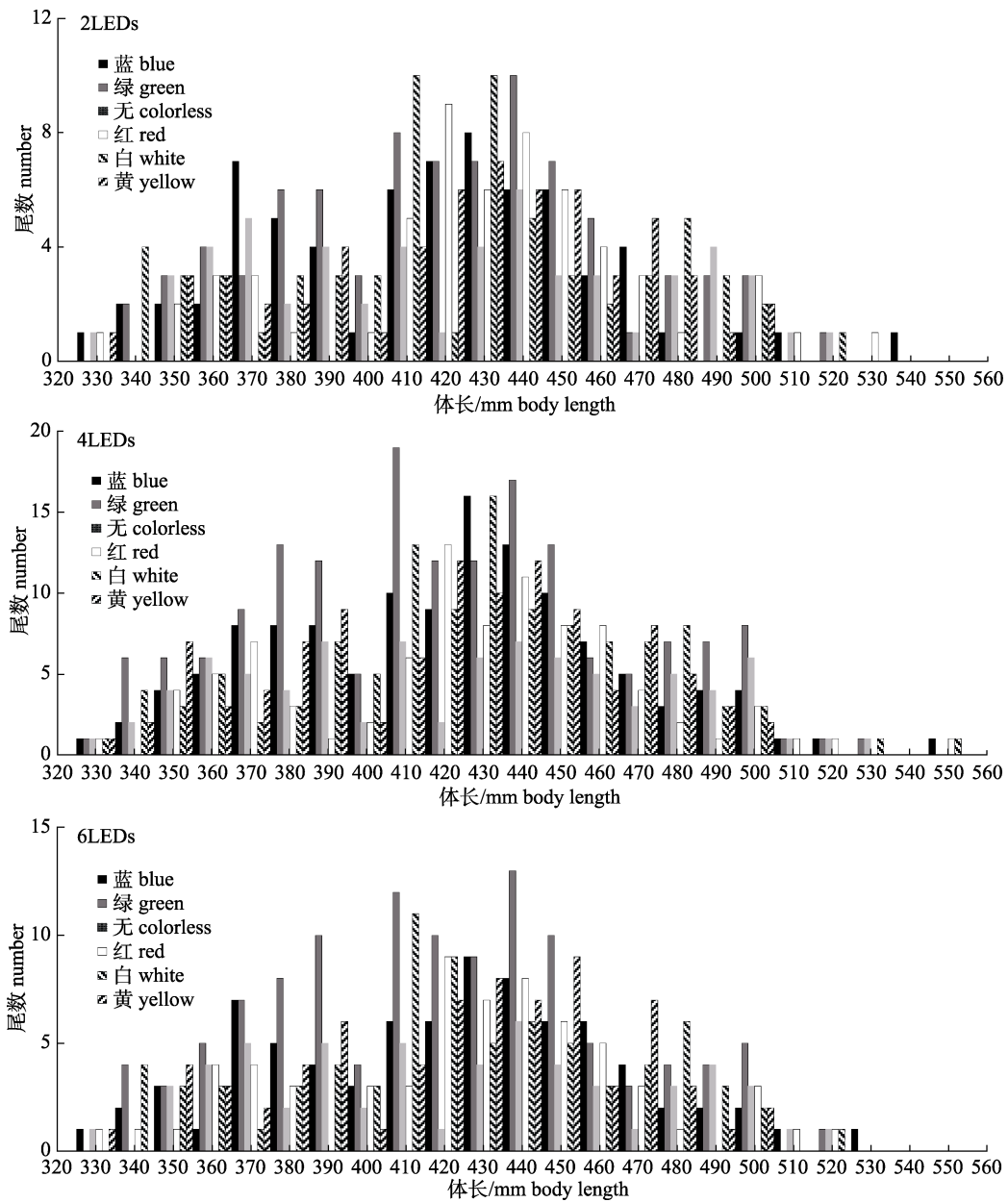


图 5 不同灯光布设下鳊体长分布

Fig. 5 Body length distribution of *Mugil cephalus* under different lighting layout



2.2 捕获效率分析

2.2.1 CPUE 分析 根据赤池信息准则和贝叶斯信息准则, 选取伽玛分布作为最优拟合来分析 LED 灯光色和数量对鲮 CPUE 的影响。GLMM 模型的相关参数如表 3 所示。

GLMM 预测布设不同光色和数量 LED 灯的刺网中鲮 CPUE 如图 6 所示。

与无 LED 灯的对照网相比, 布设 2 盏红、白、黄、蓝、绿色 LED 灯的实验网中鲮 CPUE 分别提高了 5.51%、17.97%、7.25%、25.22%、50.72%。其中布设红、黄灯的实验网与对照网的鲮 CPUE 差异不显著( $P>0.05$ ), 布设白灯的实验网与对照网差异显著( $P<0.05$ ), 布设蓝、绿灯的实验网与对照网差异极显著( $P<0.01$ )。布设 4 盏红、白、黄、

蓝、绿色 LED 灯的实验网中鲮 CPUE 分别提高了 5.93%、35.03%、24.58%、49.44%、97.46%。其中布设红灯的实验网与对照网的鲮 CPUE 差异不显著( $P>0.05$ ), 布设白、黄、蓝和绿灯的实验网与对照网差异极显著( $P<0.01$ )。布设 6 盏红、白、黄、蓝、绿色 LED 灯的实验网中鲮 CPUE 分别提高了 10.22%、31.22%、24.31%、39.78%、98.07%。其中布设红灯的实验网与对照网的鲮 CPUE 差异显著( $P<0.05$ ), 布设白、黄、蓝和绿灯的实验网与对照网差异极显著( $P<0.01$ ) (表 4)。布设 4 盏 LED 灯对于鲮 CPUE 影响与布设 6 盏 LED 灯相比差异不显著( $P>0.05$ ), 布设 4 盏或 6 盏 LED 灯对于鲮 CPUE 影响与布设 2 盏 LED 灯相比差异极显著( $P<0.01$ )。

表 3 GLMM 模型参数  
Tab. 3 Parameters of GLMM model

族 group	因变量 dependent variable	固定效应 fixed effects	AIC	BIC	F	df1	df2	P
正态分布 normal distribution	CPUE	光色 light color	318.110	327.221	96.627	5	162	<0.05
		数量 number	527.048	536.217	8.264	2	165	<0.01
伽玛分布 Gamma distribution	CPUE	光色 light color	-189.280	-180.169	16.374	5	162	<0.01
		数量 number	15.747	24.916	6.635	2	165	<0.01
泊松分布 Poisson distribution	CPUE	光色 light color	-179.031	-172.931	14.896	5	162	<0.01
		数量 number	135.100	141.237	9.911	2	165	<0.01
负二项分布 negative binomial distribution	CPUE	光色 light color	-179.031	-172.931	14.896	5	162	<0.01
		数量 number	82.217	88.355	9.694	2	165	<0.01

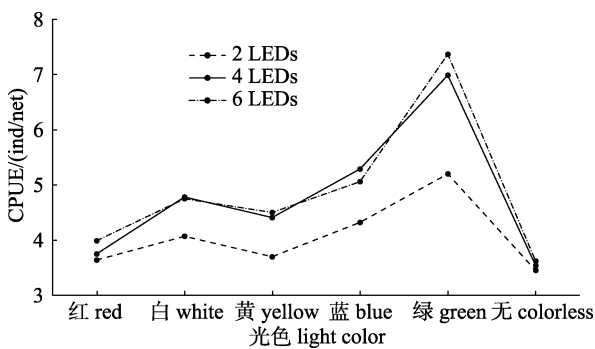


图 6 CPUE 预测值  
Fig. 6 Predicted value of CPUE

2.2.2 WPUE 分析 根据赤池信息准则和贝叶斯信息准则, 选取伽玛分布作为最优拟合来分析 LED 灯光色和数量对鲮 WPUE 的影响。GLMM

模型的相关参数如表 5 所示。

表 4 GLMM 预测的鲮 CPUE 及变化量  
Tab. 4 CPUE and variation predicted by GLMM

光色 light color	CPUE/(ind/net)		
	2 盏	4 盏	6 盏
红 red	3.64±0.21	3.75±0.26	3.99±0.33*
白 white	4.07±0.24*	4.78±0.33**	4.75±0.39**
黄 yellow	3.70±0.21	4.41±0.30**	4.50±0.37**
蓝 blue	4.32±0.25**	5.29±0.36**	5.06±0.41**
绿 green	5.20±0.30**	6.99±0.48**	7.17±0.60**
无 colorless	3.45±0.20	3.54±0.24	3.62±0.29

注: \*表示与对照相比差异显著( $P<0.05$ ), \*\*表示差异极显著( $P<0.01$ ).  
Note: \* represents significant difference with control group ( $P<0.05$ ), \*\* represents highly significant difference ( $P<0.01$ ).

表 5 GLMM 模型参数  
Tab. 5 Model parameters of GLMM

族 group	因变量 dependent variable	固定效应 fixed effects	AIC	BIC	F	df1	df2	P
正态分布 normal distribution	WPUE	光色 light color	2647.003	2656.114	47.876	5	162	<0.01
		数量 number	2821.315	2830.484	8.455	2	165	<0.01
伽玛分布 Gamma distribution	WPUE	光色 light color	-102.598	-93.487	9.114	5	162	<0.01
		数量 number	10.253	19.422	6.659	2	165	<0.01
泊松分布 Poisson distribution	WPUE	光色 light color	6843.181	6847.435	14.432	5	159	<0.01
		数量 number	15054.40	15058.749	22.089	2	162	<0.01
负二项分布 negative binomial distribution	WPUE	光色 light color	-45.055	-40.801	5.514	5	159	<0.01
		数量 number	-6.230	-1.881	3.721	2	162	<0.05

GLMM 预测布设不同光色和数量 LED 灯的刺网中鲻 WPUE 如图 7 所示。

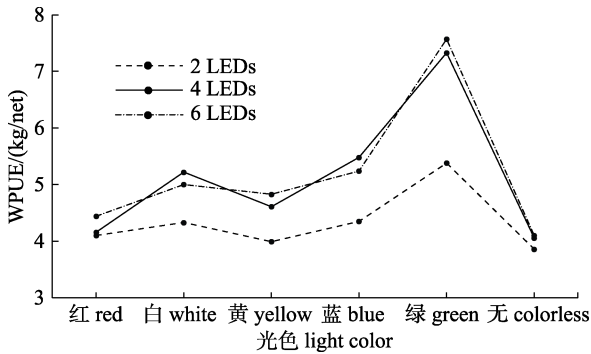


图 7 WPUE 预测值

Fig. 7 Predicted value of WPUE

与无 LED 灯的对照网相比, 布设 2 盏红、白、黄、蓝、绿色 LED 灯实验网中鲻 WPUE 分别提高了 6.21%、12.18%、3.37%、12.69%、39.38%。其中布设红、白、黄、蓝灯实验网与对照网鲻 WPUE 差异不显著 ( $P>0.05$ ), 布设绿灯实验网与对照网差异极显著 ( $P<0.01$ )。布设 4 盏红、白、黄、蓝、绿色 LED 灯实验网中鲻 WPUE 分别提高了 2.46%、28.57%、13.55%、34.98%、80.54%。其中布设红灯实验网与对照网鲻 WPUE 差异不显著 ( $P>0.05$ ), 布设黄灯实验网与对照网差异显著 ( $P<0.05$ ), 布设白、蓝和绿灯实验网与对照网差异极显著 ( $P<0.01$ )。布设 6 盏红、白、黄、蓝、绿色 LED 灯实验网中鲻 WPUE 分别提高了 8.29%、21.95%、17.80%、27.80%、84.63%。其中布设红灯实验网与对照网鲻 WPUE 差异不显著 ( $P>0.05$ ), 布设黄灯实验网与对照网差

异显著 ( $P<0.05$ ), 布设白、蓝和绿的实验网与对照网差异极显著 ( $P<0.01$ ) (表 6)。布设 4 盏 LED 灯对于鲻 WPUE 影响与布设 6 盏 LED 灯相比差异不显著 ( $P>0.05$ ), 布设 4 盏或 6 盏 LED 灯对于鲻 WPUE 影响与布设 2 盏 LED 灯相比差异极显著 ( $P<0.01$ )。

表 6 GLMM 预测 WPUE 及变化量  
Tab. 6 WPUE and variation predicted by GLMM

光色 light color	WPUE/(kg/net)		
	2 盏	4 盏	6 盏
红 red	4.10±0.26	4.16±0.16	4.44±0.22
白 white	4.33±0.27	5.22±0.20**	5.00±0.25**
黄 yellow	3.99±0.25	4.61±0.18*	4.83±0.24*
蓝 blue	4.35±0.27	5.48±0.21**	5.24±0.26**
绿 green	5.38±0.34**	7.33±0.28**	7.57±0.38**
无 colorless	3.86±0.24	4.06±0.16	4.10±0.21

注: \*表示与对照相比差异显著 ( $P<0.05$ ), \*\*表示差异极显著 ( $P<0.01$ )。

Note: \* represents significant difference with control group ( $P<0.05$ ), \*\* represents highly significant difference ( $P<0.01$ )

### 2.3 副渔获物

本次实验副渔获物渔获概况如表 7 所示, 单因素方差分析结果显示布设红、白、黄灯实验网中花鲈 (*Lateolabrax maculatus*) 的渔获数量相较于对照网差异极显著 ( $P<0.01$ ), 布设蓝灯实验网中花鲈和许氏平鲈的渔获数量相较于对照网差异显著 ( $P<0.05$ ), 布设绿灯实验网中许氏平鲈的渔获数量相较于对照网差异显著 ( $P<0.05$ ), 其他各类副渔获物数量在不同灯光布设类型的刺网中差异不显著 ( $P>0.05$ )。K-S 检验结果显示, 布设

蓝灯的实验网中花鲈的体长分布与对照网差异显著( $P<0.05$ ), 布设蓝灯和绿灯的实验网中许氏平鲷的体长分布与对照网差异显著( $P<0.05$ ), 其他各类副渔获物的体长分布在不同灯光布设类型的

刺网中差异不显著( $P>0.05$ )。不同灯光布设下花鲈和许氏平鲷的体长分布如图 8 所示, 选取 350 mm 和 150 mm 作为花鲈和许氏平鲷的理论成熟体长<sup>[22-23]</sup>。布设蓝灯的实验网中, 花鲈和许氏平鲷的幼鱼比

表 7 副渔获物渔获数据  
Tab. 7 Catch data of bycatches

种类 species	数量/ind number					
	红 red	白 white	黄 yellow	蓝 blue	绿 green	无 colorless
花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>	244**	205**	217**	195*	173	162
许氏平鲷 <i>Sebastes schlegelii</i>	82	105	106	113*	108*	83
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	67	54	71	59	62	55
梭鱼 <i>Sphyraenus</i>	64	58	62	64	75	60
日本鲷 <i>Charybdis japonica</i>	24	33	32	37	39	29
厚头平鲷 <i>Sebastes pachycephalus</i>	0	0	1	0	2	0
海燕 <i>Asterinidae</i>	3	2	1	0	2	6

注: \*表示与对照相比差异显著( $P<0.05$ ), \*\*表示差异极显著( $P<0.01$ )。

Note: \* represents significant difference with control group ( $P<0.05$ ), \*\* represents highly significant difference ( $P<0.01$ ).

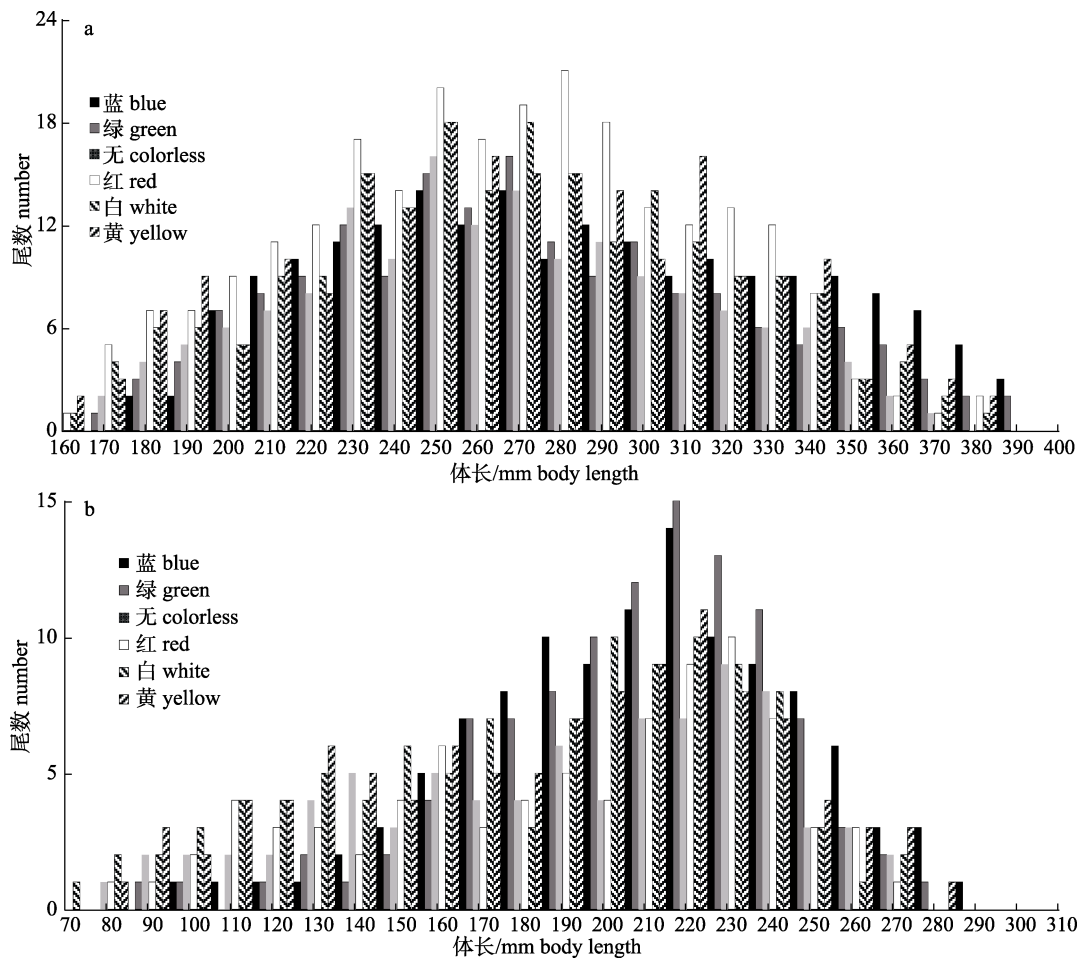


图 8 不同灯光布设下花鲈(a)和许氏平鲷(b)体长分布

Fig. 8 Body length distribution of *Lateolabrax maculatus* (a) and *Sebastes schlegelii* (b) under different lighting layout



例分别为 83.59% 和 5.04%。布设绿灯的实验网中许氏平鲈的幼鱼比例为 5.56%。无 LED 灯的对照网中花鲈和许氏平鲈的幼鱼比例为 95.68% 和 21.69%。

### 3 讨论

不同光色和数量的 LED 灯会对鲷刺网捕获效率产生不同影响。绿色 LED 灯显著提高了鲷的捕获效率, 而红色 LED 灯对于鲷捕获效率没有显著影响。这表明鲷对绿光可能具有正趋光性, 而对红光的趋光性不明显。刘理东等<sup>[15]</sup>和茅绍廉<sup>[24]</sup>通过室内研究同样发现鲷的光谱敏感峰值在 500 nm 左右, 属于绿光波段, 与本研究结果相吻合。此外, 研究结果显示, 鲷对白色、黄色和蓝色光可能也具有一定的正趋光性。布设 4 盏和 6 盏 LED 灯对于鲷捕获效率提高的影响差异并不显著, 但是相较于布设 2 盏 LED 灯, 4 或 6 盏 LED 灯则会更显著地提高鲷的捕获效率。

物种趋光性是在长期适应环境的过程中进化而来<sup>[4,25]</sup>, Clarke<sup>[26]</sup>报道称物种的视觉色素和敏感度一般与栖息地区域的光线光谱组成相匹配。对于海洋生物来讲, 水深是影响不同水层物种趋光性的重要因素。自然光透射海水时会不断衰减, 长波光容易被海水吸收, 而短波光的透射性较强, 能透射至海水中下层<sup>[27]</sup>。因此, 中上层鱼类通常对波长较长的光比较敏感, 如生活在水体中上层的鳙对红光、白光表现出明显的偏好而对绿光、蓝光不敏感<sup>[28]</sup>。而底栖鱼类通常对波长较短的光比较敏感, 如蓝光对底栖鱼类许氏平鲈有一定的吸引作用<sup>[29]</sup>, 但也有部分鱼类相异, 如生活在在中上层水体中的蓝圆鲹对波长较短的蓝绿光具有明显的偏好性<sup>[30-31]</sup>。此外, LED 灯诱集鱼类的机理并非仅与鱼类的趋光性有关, 较多研究报道称鱼类对于灯光的反应也与鱼类本身探索行为、摄食策略、好奇行为等相关<sup>[4,32]</sup>。鲷较为广泛的分布范围和水层可能意味着其对不同光色具有更好的适应能力<sup>[33]</sup>。正如本研究结果所示, 与对照网相比, 布设不同光色 LED 灯的实验网提高了鲷的渔获量。后续开展解剖学、生理学和行为学等研究将有助于解释鲷这种趋光性的内在机制。

尽管 LED 灯能有效提高鲷捕获效率, 但由于不同鱼类对光反应具有特异性, 因此, 在应用 LED 灯时需充分考虑其对刺网渔业副渔获物组成的影响。本研究结果显示, 仅特定光色下花鲈和许氏平鲈的渔获数量相较于对照网存在显著差异, 其他副渔获物数量在不同灯光布设类型的刺网中差异不显著。花鲈和许氏平鲈可能具有一定的趋光性, 并且幼鱼和成鱼的趋光性可能存在差异, 花鲈更趋向于红光、黄光等波长较长的光, 而许氏平鲈则更趋向于蓝光、绿光等波长较短的光。红色 LED 灯在以花鲈为目标的渔业中可能具有一定的应用潜力, 而蓝绿色 LED 灯在以许氏平鲈为目标的渔业中可能具有一定的应用潜力。同时, 布设蓝灯的实验网中花鲈的幼鱼比例相较于对照网有所下降, 布设蓝灯和绿灯的实验网中许氏平鲈的幼鱼比例相较于对照网有所下降, 应用蓝绿色 LED 灯进行捕捞可能有利于保护花鲈和许氏平鲈的幼鱼资源。总之, LED 灯在刺网渔业中的应用需综合考虑其对目标渔获物和副渔获物的影响, 通过合理的灯光布设方式, 提高渔业生产的经济效益和生态效益。

捕捞成本也是决定 LED 灯是否可以投入实际生产的重要因素<sup>[12,34]</sup>。本研究所用 LED 灯价格相对低廉(10 元/灯), 投资成本较小, 且可以显著增加渔民的经济收入。LED 灯还具有稳定的性能表现, 经测试两节 5 号电池可供 LED 灯在水下高亮度持续照明 15 d 左右, 海上作业时无需频繁更换电池。此外, 在海上实验过程中, LED 灯没有出现损坏的情况。LED 灯在实际生产实践中可能具有较好的应用前景。

LED 灯的光强也是影响捕获效率的重要因素。Bradburn 等<sup>[35]</sup>研究发现, 光照强度对于拖网渔获率具有显著影响, 当深度 < 200 m 时, 拖网主要目标物种箭齿鲈、长平鲈、长吻鲈和太平洋无须鲈的渔获率随光照强度增加而降低。当深度 > 200 m 时, 箭齿鲈和长平鲈的渔获率随光强增加而提高, 太平洋无须鲈的渔获率随光强增加略有降低, 而长吻鲈的渔获率不受光强影响。Sofijanto 等<sup>[36]</sup>研究表明, 集鱼灯功率和数量的增加可以提

高围网渔船周围的照明强度,增强诱集效果,提高渔获量,但具有灯光饱和效果。Fitri Aristi 等<sup>[37]</sup>研究发现,相较于较低光强的LED灯(10 W, 531 lux),较高光强的LED灯(13 W, 628 lux)诱集鲷效果更显著,更适用于提高鲷鱼捕获效率。需要进一步探究不同LED灯光强对鲷捕获效率的影响,以获得最优捕获效能。

LED灯在提高多种渔业目标物种捕获效率方面起到了较为理想的结果,但仍需充分考虑该技术潜在的负面影响。长远来看,CPUE提高可能会增加过度捕捞的风险,从而导致渔业资源枯竭、生态系统结构和功能的破坏<sup>[12,38-39]</sup>。如何在刺网渔业中合理应用LED灯,保证渔业资源可持续利用尤为重要。应当系统评估LED灯使用后对于种群资源的影响,来降低过度捕捞的风险。

#### 参考文献:

- [1] Liu J Y, Yang T B. Morphological variation of grey mullet *Mugil cephalus* in different geographical populations along China coast[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009, 40(5): 572-576. [刘建勇, 杨廷宝. 我国沿海鲷鱼(*Mugil cephalus*)不同地理群体形态差异研究[J]. *海洋与湖沼*, 2009, 40(5): 572-576.]
- [2] Administrative Department for Fisheries the Ministry for Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fisheries statistics yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016-2022. [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. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016-2022.]
- [3] Sun Z Z. Gillnet Fisheries and Fishing Techniques[M]. Beijing: China Ocean Press, 2014. [孙中之. 刺网渔业与捕捞技术[M]. 北京: 海洋出版社, 2014.]
- [4] Nguyen K Q, Winger P D. Artificial light in commercial industrialized fishing applications: A review[J]. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 2019, 27(1): 106-126.
- [5] Wang W J, Qian W G, Kong X H, et al. Analysis of LED fish-attracting lamp spectrum distribution in water and its catch performance[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2015, 24(4): 610-616. [王伟杰, 钱卫国, 孔祥洪, 等. LED集鱼灯在海中的光谱分布及使用效果分析[J]. *上海海洋大学学报*, 2015, 24(4): 610-616.]
- [6] Wang W J. The application research of LED fish aggregation lamp in the squid jigging boat[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016. [王伟杰. LED水上鱿钓集鱼灯应用研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.]
- [7] Ricci P, Trivellin N, Cascione D, et al. Benefits and risks of the technological creep of LED light technologies applied to the purse seine fishery[J]. *Biology*, 2022, 11(1): Article No.48.
- [8] Ricci P, Trivellin N, Cascione D, et al. LED technology to increase the purse seine fishery performance[C]//Proceedings of IEEE International Workshop on Metrology for the Sea. Piscataway: IEEE, 2021: 344-348.
- [9] Cerbule K, Herrmann B, Grimaldo E, et al. The effect of white and green LED-lights on the catch efficiency of the Barents Sea snow crab (*Chionoecetes opilio*) pot fishery[J]. *PLoS One*, 2021, 16(10): e0258272.
- [10] Susanto A, Suuronen P, Gorgin S, et al. Behavioral response and retinal adaptation of blue swimming crab (*Portunus pelagicus*) exposed to LED lights-led light as a potential artificial attractant in trap fishing[J]. *Fisheries Research*, 2022, 250: 106274.
- [11] Bielli A, Alfaro-Shigueto J, Doherty P D, et al. An illuminating idea to reduce bycatch in the Peruvian small-scale gillnet fishery[J]. *Biological Conservation*, 2020, 241: 108277.
- [12] Yu M J, Liu C D, Zhang L Y, et al. Application of light-emitting diodes (LEDs) fishing lights to improve catch rates of small-scale trammel net fishery in the Yellow Sea, China [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2022, 9: 1036979.
- [13] Yu M J, Herrmann B, Cerbule K, et al. Effect of artificial lights on catch efficiency and capture patterns in Asian paddle crab (*Charybdis japonica*) gillnet fishery[J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2023, 65: 103101.
- [14] Wang Y Y, Feng B, Lu H S. Research on the phototactic behavior of *Mugil cephalus* larva under the different illumination conditions[J]. *Marine Sciences*, 2010, 34(2): 49-53. [王以尧, 冯波, 卢伙胜. 不同光照条件对幼鲷趋光行为影响的初步研究[J]. *海洋科学*, 2010, 34(2): 49-53.]
- [15] Liu L D, He D R, Zheng W Y. Electrophysiological studies on visual characteristics of *Mugil cephalus* and *M. carinatus* [J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1986, 25(2): 227-232. [刘理东, 何大仁, 郑微云. 普通鲷鱼和稜鲷视觉特性的电生理研究[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 1986, 25(2): 227-232.]
- [16] Martin G R, Crawford R. Reducing bycatch in gillnets: A sensory ecology perspective[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2015, 3: 28-50.
- [17] Larsen R B, Herrmann B, Sistiaga M, et al. Could green artificial light reduce bycatch during Barents Sea deep-water shrimp trawling?[J]. *Fisheries Research*, 2018, 204: 441-447.
- [18] Ortiz N, Mangel J C, Wang J, et al. Reducing green turtle

- bycatch in small-scale fisheries using illuminated gillnets: The cost of saving a sea turtle[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2016, 545: 251-259.
- [19] Hall M A, Alverson D L, Metuzals K I. By-catch: Problems and solutions[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, 41(1-6): 204-219.
- [20] Shi W Q, Huang J, Xiong Z Y. Research status and development trend of LED fishing lamp in marine fishing[J]. *Standard & Quality of Light Industry*, 2018(3): 57-59. [师文庆, 黄江, 熊正焯. 海洋捕捞 LED 集鱼灯的研究现状及发展趋势[J]. *轻工标准与质量*, 2018(3): 57-59.]
- [21] Liu Y. Research and development state and perspectives of LED technology in fisheries and aquaculture: A review[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2020, 35(3): 323-332. [刘鹰. LED 照明技术在渔业中的研究应用及展望[J]. *大连海洋大学学报*, 2020, 35(3): 323-332.]
- [22] Peng B B, Zhao F, Wang S K, et al. Habitat traits of *Lateolabrax japonicus* in different subhabitats of Yangtze River Estuary[J]. *South China Fisheries Science*, 2021, 17(4): 1-8. [彭彪彪, 赵峰, 王思凯, 等. 中国花鲈在长江口不同亚生境中的栖息特征[J]. *南方水产科学*, 2021, 17(4): 1-8.]
- [23] Zhang L Y, Liu S D, Dong X Q, et al. Selectivity of gillnets with different mesh sizes for *Sebastes schlegelii* and *Hexagrammos otakii* in artificial reef area[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(10): 1519-1528. [张力友, 刘淑德, 董秀强, 等. 人工鱼礁区不同网目尺寸单片刺网对许氏平鲷和大泷六线鱼的选择性[J]. *中国水产科学*, 2022, 29(10): 1519-1528.]
- [24] Mao S L. Fish action and fishing techniques[M]. Beijing: China Ocean Press, 1985: 146. [茅绍廉. 鱼类行动与捕鱼技术[M]. 北京: 海洋出版社, 1985: 146.]
- [25] Johnson M L, Gatlen E, Shelton P M J. Spectral sensitivities of five marine decapod crustaceans and a review of spectral sensitivity variation in relation to habitat[J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2002, 82(5): 835-842.
- [26] Clarke G L. On the depth at which fish can see[J]. *Ecology*, 1936, 17(3): 452-456.
- [27] Sun C D, Chen L Y, Gao L M, et al. Water optical properties and their effect on underwater imaging[J]. *Journal of Applied Optics*, 2000, 21(4): 39-46. [孙传东, 陈良益, 高立民, 等. 水的光学特性及其对水下成像的影响[J]. *应用光学*, 2000, 21(4): 39-46.]
- [28] Qin X H, Wang C F, Mo W J, et al. Effect of light color and intensity for attracting *Aristichthys nobilis*[J]. *Journal of Hydroecology*, 2015, 36(3): 66-71. [秦孝辉, 王从锋, 莫伟均, 等. 鲮对光色和光强的选择性试验[J]. *水生生态学杂志*, 2015, 36(3): 66-71.]
- [29] Huang L Y. Experimental study on the effect of illumination on the behavior and blocking of rockfish (*Sebastes schlegelii*) [C]//International Symposium on Modern Marine (Freshwater) Ranching. 2017: 71-72. [黄六一. 光照对许氏平鲷的行为影响和拦截效果试验研究[C]//现代海洋(淡水)牧场国际学术研讨会. 2017: 71-72.]
- [30] Yu W Z, He D R, Zheng Y S. Studies on the phototactic behavior of round scad and chub mackerel[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1981, 3(1): 149-156. [俞文钊, 何大仁, 郑玉水. 蓝圆鲹和鲈鱼趋光行为的研究[J]. *海洋学报(中文版)*, 1981, 3(1): 149-156.]
- [31] Chen Q X, Xiong Z Y, Tan Z M, et al. Comparison between the catches (*Trachurus japonicus* and *Decapterus maruadsi*) around two LED lamps[J]. *South China Fisheries Science*, 2013, 9(3): 80-84. [陈清香, 熊正焯, 谭中明, 等. 2 种 LED 灯光诱蓝圆鲹和竹筴鱼的渔获比较[J]. *南方水产科学*, 2013, 9(3): 80-84.]
- [32] Arimoto T. Fish behaviour and visual physiology in capture process of light fishing[C]//Symposium on Impacts of Fishing on the Environment: ICES-FAO Working Group on Fishing Technology and Fish Behaviour, 2013.
- [33] Yu M J, Tang Y L, Min M H, et al. Comparison of physical properties and fishing performance between biodegradable PLA and conventional PA trammel nets in grey mullet (*Mugil cephalus*) and red-lip mullet (*Liza haematocheila*) fishery[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2023, 195: 115545.
- [34] Senko J F, Peckham S H, Aguilar-Ramirez D, et al. Net illumination reduces fisheries bycatch, maintains catch value, and increases operational efficiency[J]. *Current Biology*, 2022, 32(4): 911-918.
- [35] Bradburn M J, Keller A A. Impact of light on catch rate of four demersal fish species during the 2009-2010 U.S. west coast groundfish bottom trawl survey[J]. *Fisheries Research*, 2015, 164: 193-200.
- [36] Sofijanto M A, Arfiati D, Lelono T D, et al. Efficiency comparison of LED and MH lamps in purse seine fisheries[J]. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2019, 19(2): 131-139.
- [37] Fitri Aristi D P, Ramadanita I A, Hapsari T D, et al. *Stolephorus* sp. behavior in different LED (light emitting diode) color and light intensities[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, 116: 012067.

- [38] Mills E, Gengnagel T, Wollburg P. Solar-LED alternatives to fuel-based lighting for night fishing[J]. *Energy for Sustainable Development*, 2014, 21: 30-41.
- [39] Solomon O O, Ahmed O O. Fishing with light: Ecological consequences for coastal habitats[J]. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 2016, 4(2): 474-483.

## Effect of light-emitting diodes (LEDs) on catch efficiency and bycatches in grey mullet (*Mugil cephalus*) gillnet fishery

DOU Yilin<sup>1</sup>, YU Mengjie<sup>1</sup>, LIU Shude<sup>2</sup>, TANG Yanli<sup>1</sup>

1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Shandong Fisheries Development and Resources Conservation Center, Yantai 264003, China

**Abstract:** Gillnet fisheries targeting grey mullets *Mugil cephalus* are an important part of small-scale fisheries in the coastal areas of China. However, in fishery production, the catch efficiency of gray mullet is low and the number of catches is out of proportion to the fishing effort, which leads to a low economic benefit for the fishery. Improving the catch efficiency of gray mullets has become an urgent problem that needs to be solved. In recent years, light-emitting diodes (LEDs) have been widely used to improve the catch efficiency of target species. It mainly uses the phototaxis of the target species to attract, gather, and trap fish. Many studies have shown that the gray mullet has phototaxis and may have different phototaxis for different lights. Therefore, the application of LEDs in gray mullet gillnet fisheries may effectively improve catch efficiency; however, their specific impact needs to be systematically assessed. In this study, sea trials were conducted in the northern sea area of Rongcheng from May to June 2023 to test the effects of different LED light colors (red, white, yellow, blue, and green) and amount (2, 4, 6) on the catch efficiency of gray mullet. A total of 1549 specimens of grey mullet were caught. The generalized linear mixed effect model (GLMM) was used to evaluate the effect of LEDs on the catch efficiency of gray mullets. When building the model, CPUE (catch amount per unit of fishing effort) and WPUE (catch weight per unit of fishing effort) were taken as dependent variables, LED color and quantity as fixed effects, and voyage time as random effects, according to the Akaike Information Criterion (AIC) and Bayesian Information Criterion (BIC), to judge the fitting degree of the normal, gamma, Poisson, and negative binomial distributions. The gamma distribution was selected as the optimal fit to analyze the influence of LED color and quantity influence the catch efficiency of gray mullets. Compared with LEDs of different light colors, the CPUE of mullet with 2/4/6 green lights significantly increased by 50.72%, 97.46%, and 98.07%, whereas the WPUE significantly increased by 39.38%, 80.54%, and 84.63%, respectively. The CPUE and WPUE of gray mullets in the test nets with 4 and 6 LEDs were not significantly different ( $P>0.05$ ). In addition, LEDs improve the catch efficiency of bycatch in sea bass (*Lateolabrax maculatus*) and black rockfish (*Sebastes schlegelii*). Based on the results of this study, green LEDs are recommended in grey mullet gillnet fisheries to improve the catch efficiency of grey mullet, and the recommended number is four per net.

**Key words:** LED light; gillnet; *Mugil cephalus*; catch efficiency; bycatch

**Corresponding author:** LIU Shude, E-mail: shude28@163.com; TANG Yanli, E-mail: tangyanli@ouc.edu.cn