

文章编号: 1000-0615(2017)04-0556-10

DOI: 10.11964/jfc.20160410363

## 灯光诱集对中小型浮游动物群落的生态学效应

杜飞雁\*, 王亮根, 王雪辉, 谷阳光, 陈森, 张鹏

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东省渔业生态环境重点开放实验室,  
农业部南海渔业资源环境科学观测实验站, 广东广州 510300)

**摘要:** 2014年5月21—23日和27日在南沙群岛中部海域开展灯光罩网作业的同时, 开展诱集前后中小型浮游动物群落变化的初步实验, 研究浮游动物群落对灯光反应的敏感性, 灯光对群落产生了较为明显的生态学效应。诱集前后共出现浮游动物178种, 隶属16个类群。诱集后种类数增加, 种类组成的更替率为41%。各类群中, 除枝角类外其余15个类群在诱集前后出现的种类均发生变化; 除原生动物在诱集后种类数下降外, 其他类群的种类数均呈增加的趋势。浮游动物绝大部分类群对灯光诱集较为敏感, 趋光性有正有负。诱集前后浮游动物优势种组成发生一定的变化, 更替率为50%。诱集前优势种以桡足类为主, 而诱集后有尾类的优势地位明显增强。诱集后浮游动物优势种优势度和出现频率均呈明显降低的趋势。南沙群岛海域中小型浮游动物优势种诱集前后均呈聚集分布, 各优势种对灯光反应敏感, 不同种类对灯光的适应性有所差异。住囊虫等大部分种类对灯光的适应性较强, 诱集后聚集强度明显增加; 而驼背大眼水蚤和活泼大眼剑水蚤诱集后聚集强度明显下降。桡足类幼虫和小纺锤水蚤等诱集后, 聚集强度明显上升, 之后又大幅下降。浮游动物生物量和栖息密度在诱集后总体呈明显的增加趋势, 以诱集初期增幅最大, 之后数量虽有所降低, 但仍高于诱集前。灯光可使浮游动物物种丰富度和多样性水平明显提高, 但尚未改变浮游动物的群落结构。浮游动物对人造光反应的种间和类群间差异, 是由生物自身的生理特征和不同的摄食策略决定的。诱集后游泳生物摄食强度提高, 导致了诱集后期浮游动物数量下降。

**关键词:** 中小型浮游动物; 生态效应; 灯光诱集; 南沙群岛; 南海

**中图分类号:** Q 145; S 932.8

**文献标志码:** A

浮游动物是海洋生态系统食物网中的关键环节, 它们下行控制初级生产力, 上行被经济鱼类等高级消费者摄食, 在生态系统结构和生源要素循环中扮演着重要角色。中、小型浮游动物具有繁殖快、生命周期短、产量高、粒度小的特点, 其对浮游植物的摄食压力超过大型浮游动物, 对海洋初级生产力的利用大于大型浮游动物<sup>[1]</sup>。此外, 中小型桡足类是仔稚鱼最重要的开口饵料, 作为基础饵料比大型桡足类更具特殊意义, 其数量是判断经济鱼类资源量的

重要依据<sup>[2-5]</sup>。浮游动物始终处于变化的环境中, 而光照是一天中变化较大的环境因子之一。以往研究表明, 光照对浮游动物昼夜垂直迁移、摄食、产卵率和孵化率等均有影响<sup>[6]</sup>。对于靠视觉发现饵料的游泳生物, 对光照的反应会影响到其摄食, 所以对浮游动物行为的研究有助于分析游泳生物的行为, 进而对渔业研究和生产有重要帮助<sup>[6]</sup>。

20世纪60年代, 在渔业生产中就有利用某些中上层鱼类和头足类趋光的习性, 在夜间通过灯光将分散的鱼群诱集成群, 进行捕获的灯

收稿日期: 2016-04-15 修回日期: 2016-10-21

资助项目: 国家自然科学基金(41406188); 国家科技支撑计划(2013BAD13B06); 广东省科技计划项目(2014A020217011)

通信作者: 杜飞雁, E-mail: feiyanegg@163.com

光渔业<sup>[7]</sup>。灯光围网和罩网是两种主要的灯光渔业,灯光围网是最初的作业方式,灯光罩网是20世纪90年代初发展起来的一种新型渔具渔法<sup>[8]</sup>。灯光罩网可捕对象和作业渔场明显广于灯光围网,更具发展优势<sup>[9]</sup>。当前,近岸海域渔业资源严重衰退,灯光罩网成为开发外海中上层渔业资源的重要作业方式。灯光对趋光性的鱼类和头足类有明显的诱集作用,但其对饵料生物——浮游动物的影响相关研究开展较少。本实验通过在南沙海域开展灯光罩网作业的同时,分析诱集作业前后中、小型浮游动物群落变化,以期为深入开展人造光对浮游动物行为和生态效应、诱集过程中目标渔业和饵料生物之间的关系、人造光对海洋生态系统的影响提供研究基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 站 位 设 置 及 取 样 方 法

2014年5月21—23日和27日在南沙群岛中部海域10°59'25"N、114°3'15"E设置1个测站,每晚19:00采样后,19:10开灯,开灯后每隔30 min采样1次,使用浅水Ⅱ型浮游生物网(网口面积0.2 m<sup>2</sup>,网目大小160 μm)对浮游动物进行20 m至表层的垂直采样,共采获样品14份。样品的处理、保存、计数等均按《海洋调查规范》(GB12763.6-2007)<sup>[10]</sup>进行。

金属卤化物集鱼灯功率为1 kW,每晚均开370盏进行诱集,平均水上光强约为4000 lx。

### 1.2 数 据 统 计 及 分 析

选用种类更替率( $R$ )进行种类组成诱集前后的变化研究<sup>[11]</sup>,其计算式:

$$R(\%) = [(a+b-2c)/(a+b-c)] \times 100$$

式中, $a$ 与 $b$ 分别为相邻2个时间段的种类数, $c$ 为相邻2个时段共同的种类数。

采用优势度计算浮游动物优势种<sup>[12]</sup>,其计算式:

$$Y = (n_i/N) \times f_i$$

式中, $n_i$ 为第 $i$ 种的个体数量; $N$ 为某站总浮游动物个体数; $f_i$ 为某种生物的出现频率。取优势度 $Y \geq 0.02$ 的种类为优势种<sup>[12]</sup>。

通过优势种群聚集强度测度分析灯光对浮游动物的聚集效应,聚集强度测定选用聚块性指数( $G$ )<sup>[13]</sup>。

$$G = (S^2 - X + X^2) / X^2$$

式中, $X$ 和 $S^2$ 分别为优势种在各站的平均栖息密度和方差, $N$ 为该优势种的个体总数。 $G=1$ 时为随机分布, $G<1$ 时为均匀分布, $G>1$ 时为聚集分布。

采用Margalef种类丰富度指数 $D$ 、Shannon-Wiener指数 $H'$ 、Pielou均匀度 $J$ 和多样性阈值 $D_v$ 来研究浮游动物多样性特征<sup>[12, 14]</sup>。

$$\text{Margalef种类丰富度指数 } D = (S-1) / \ln N$$

$$\text{Shannon-Wiener指数 } H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i,$$

$$P_i = n_i / N$$

$$\text{均匀度指数 } J = H' / \log_2 S$$

式中, $S$ 为样品中的种类总数, $P_i$ 为第 $i$ 种的个体数( $n_i$ )与总个体数( $N$ )的比值( $n_i/N$ )。

$$\text{多样性阈值 } D_v = H' \times J$$

通过聚类分析和多维尺度排序,分析灯光诱集对浮游动物群落结构的影响。首先将诱集前、后浮游动物栖息密度进行4次方根转换,然后采用Bray-Curtis相似性指数,建立站位二维矩阵,进而采用等级聚类(CLUSTER)和非度量多维标度排序MDS (Non-metric multi-dimensional scaling)分析。

## 2 结 果 与 分 析

### 2.1 种 类 组 成

诱集前后共出现浮游动物178种,隶属16个类群。诱集前出现114种,诱集后增加至168种,种类组成的更替率为41%。各类群中,只有枝角类在诱集前后没有发生变化,其余15个类群出现种类均发生变化;除原生动物在诱集后种类数下降外,其他类群的种类数均呈增加的趋势。其中,端足类和介形类在诱集后才出现,其更替率为100%;水螅水母类、多毛类、翼足类、原生动物、十足类、等足类和海樽类对灯光诱集较为敏感,其更替率在50%以上;栉水母类、桡足类、毛颚类、有尾类和浮游幼虫出现种类虽有增加,但对灯光诱集的敏感度较低,更替率均低于50%。灯光诱集后才出现的种类有孟加拉蛮蛾(*Lestrigonus bengalensis*)、矩腕真叶蛾(*Eupronoe laticarpa*)、针刺真浮萤(*Euconchoecia aculeata*)、正型莹虾(*Lucifer typus*)、芽笔帽螺(*Creseis virgula*)、拟海若螺(*Paraclione longicaudata*)、秀丽浮蚕(*Tomopteris elegans*)、粗

壮箭虫(*Sagitta robusta*)和双尾纽鳃樽(*Thalia democratica*)等63种, 种类数以水螅水母类和桡足类为多。克氏长角哲水蚤(*Mecynocera clausi*)、弓角基齿哲水蚤(*Clausocalanus arcuicornis*)、漂泊浮蚕(*Tomopteris plankonis*)和磷虾类无节幼虫 nauplius larvae (Euphausiacea)等9种浮游动物在灯光诱集后就不再出现。诱集前后均出现的106种浮游动物, 除11种的出现频率在诱集后增加、2种保持不变外, 其余93种浮游动物的出现频率明显降低, 表明浮游动物绝大部分类群对灯光

诱集较为敏感, 但对光的反应有呈正趋光性也有呈负趋光性。

## 2.2 优势种组成

诱集前后浮游动物优势种组成发生一定的变化, 更替率为50%(表2)。诱集前优势种以桡足类为主, 而诱集后有尾类的优势地位明显增强。桡足类幼虫(Copepod larvae)、驼背大眼水蚤(*Farranula gibbula*)、拟哲水蚤(*Paracalanus* sp.)和小纺锤水蚤(*Acartia negligens*)等优势度列前6位的

表1 浮游动物种类组成

Tab. 1 The species composition of zooplankton in Nansha Islands waters

类群 group	总计/种 total	诱集前/种 before trapping	诱集后/种 after trapping	更替率/% succession rate	类群 group	总计/种 total	诱集前/种 before trapping	诱集后/种 after trapping	更替率/% succession rate
原生动物 Protozoa	2	2	1	50	等足类 Isopoda	2	1	2	50
水螅水母 Hydromedusae	20	3	19	90	介形类 Ostracoda	1	0	1	100
管水母 Siphonophorae	10	6	10	40	翼足类 Pteropoda	8	3	8	62
栉水母 Ctenophora	3	1	3	33	多毛类 Polychaeta	5	2	4	80
枝角类 Cladocera	1	1	1	0	毛颚类 Chaetognaths	9	7	9	22
桡足类 Copepoda	70	56	66	23	有尾类 Appendiculata	11	9	11	18
端足类 Amphipoda	2	0	2	100	海樽类 Thaliacea	4	2	4	50
十足类 Decapoda	2	1	2	50	浮游幼虫 larva	28	20	25	33

表2 浮游动物优势种组成

Tab. 2 The dominant species composition of zooplankton in Nansha Islands waters

种名 species	诱集前 before trapping		诱集后 after trapping	
	优势度 Y	出现频率/% frequency of occurrence	优势度 Y	出现频率/% frequency of occurrence
桡足类幼虫 Copepod larvae	0.28	100	0.18	71
驼背大眼水蚤 <i>Farranula gibbula</i>	0.10	100	0.06	71
拟哲水蚤属 <i>Paracalanus</i> sp.	0.05	100	0.03	64
小纺锤水蚤 <i>Acartia negligens</i>	0.04	100	0.02	71
瘦拟哲水蚤 <i>Paracalanus gracilis</i>	0.02	100	0.02	71
红住囊虫 <i>Oikopleura rufescens</i>	0.02	100	0.02	71
活泼大眼剑水蚤 <i>Corycaeus agilis</i>	0.02	100		64
微驼隆哲水蚤 <i>Acrocalanus gracilis</i>	0.02	100		71
住囊虫幼虫 Oikopleura larvae	0.02	75		43
梭形住囊虫 <i>Oikopleura fusiformis</i>		75	0.02	71
长尾住囊虫 <i>Oikopleura longicauda</i>		75	0.02	71
普通波水蚤 <i>Undinula vulgaris</i>		75	0.02	71

优势种没有变化, 但优势度明显降低。诱集后梭形住囊虫(*Oikopleura fusiformis*)、长尾住囊虫(*O. longicauda*)和普通波水蚤(*Undinula vulgaris*)取代活泼大眼剑水蚤(*Corycaeus agilis*)、微驼隆哲水蚤(*A. gracilis*)和住囊虫幼虫, 进入优势种的行列, 但浮游动物优势种出现频率均呈明显降低的趋势, 第一优势种桡足类幼虫的优势地位也明显降低。

### 2.3 优势种种群集群强度变化

从优势种的聚块性指标来看, 南沙群岛海域中、小型浮游动物优势种诱集前后均呈聚集分布(表3)。各优势种对灯光反应敏感, 诱集后优势种的聚集强度均发生明显的变化, 但聚集强度变化的种间差异较大, 表明不同种类对灯光的适应性有所差异。

诱集后优势种聚集强度变化大致可分为下降、上升和上升后下降3种情况, 大部分优势种在诱集后聚集强度呈升高的趋势。驼背大眼水蚤和活泼大眼剑水蚤开灯后聚集强度急剧下降, 30 min后聚集强度虽有所恢复, 之后又明显下降。其中以活泼大眼剑水蚤聚集强度的下降趋势最为明显, 并在诱集后退出优势种的行列。表明这些种类对灯光有明显的不适应; 而拟哲水蚤、瘦拟哲水蚤、红住囊虫、梭形住囊虫、

长尾住囊虫和普通波水蚤的聚集强度明显上升, 但具体的变化过程有所差异。红住囊虫、梭形住囊虫、长尾住囊虫和瘦拟哲水蚤的聚集强度在大幅上升后出现较为明显的下降, 但之后出现的聚集强度更高。其中, 梭形住囊虫和长尾住囊虫成为诱集后的优势种。表明这些种类对灯光有较强的适应性; 桡足类幼虫、小纺锤水蚤、微驼隆哲水蚤和住囊虫幼虫在灯光诱集后, 聚集强度虽有明显上升, 但之后又明显下降, 表明这些种类对灯光的适应性较差。

### 2.4 数量变化

诱集前浮游动物总生物量为147.50 mg/m<sup>3</sup>, 诱集后生物量持续增加后降低。开灯后1 h, 生物量增至195.63 mg/m<sup>3</sup>, 之后降低至163.75 mg/m<sup>3</sup>。浮游动物总栖息密度在诱集后总体呈明显的增加趋势, 以诱集初期增幅最大(由972增至1350个/m<sup>3</sup>), 之后数量有所降低(1143个/m<sup>3</sup>), 但仍高于诱集前(图1)。各类群在诱集后的数量变化情况有所差异, 大致可以分为增加和减少两大类型。桡足类、浮游幼虫、翼足类和海樽类, 诱集初期数量明显增加, 之后数量减少; 有尾类和十足类诱集初期数量略有增加, 之后明显减少, 但在诱集后期数量又上升; 腔肠动物水母类、端足类和介形类, 诱集后数量持续增加, 但在

表 3 浮游动物优势种聚块性指标

Tab. 3 The aggregated intensity of dominant zooplankton in Nansha Islands waters

种名 species	诱集前 before trapping		诱集后 after trapping	
	19:00	19:40	20:20	20:50
桡足类幼虫 Copepod larvae	134 165.67	167 191.76	103 354.91	70 724.39
驼背大眼水蚤 <i>Farranula gibbula</i>	16 183.30	11 384.38	18 735.94	12 263.77
拟哲水蚤 <i>Paracalanus</i> sp.	2927.47	3843.75	3465.63	5006.74
小纺锤水蚤 <i>Acartia negligens</i>	2540.63	2664.76	3115.80	541.89
瘦拟哲水蚤 <i>Paracalanus gracilis</i>	1961.43	2393.40	1160.07	3667.19
红住囊虫 <i>Oikopleura rufescens</i>	410.94	1160.07	528.30	3908.20
活泼大眼剑水蚤 <i>Corycaeus agilis</i>	645.31	137.11	567.19	89.19
微驼隆哲水蚤 <i>Acrocalanus gracilis</i>	776.27	1201.22	87.15	143.75
住囊虫幼虫 <i>Oikopleura</i> larvae	560.81	1681.25	261.11	284.47
梭形住囊虫 <i>Oikopleura fusiformis</i>	184.20	2071.88	517.36	3751.95
长尾住囊虫 <i>Oikopleura longicauda</i>	645.31	2689.89	599.65	4563.77
普通波水蚤 <i>Undinula vulgaris</i>	78.52	1153.30	1681.25	1489.55

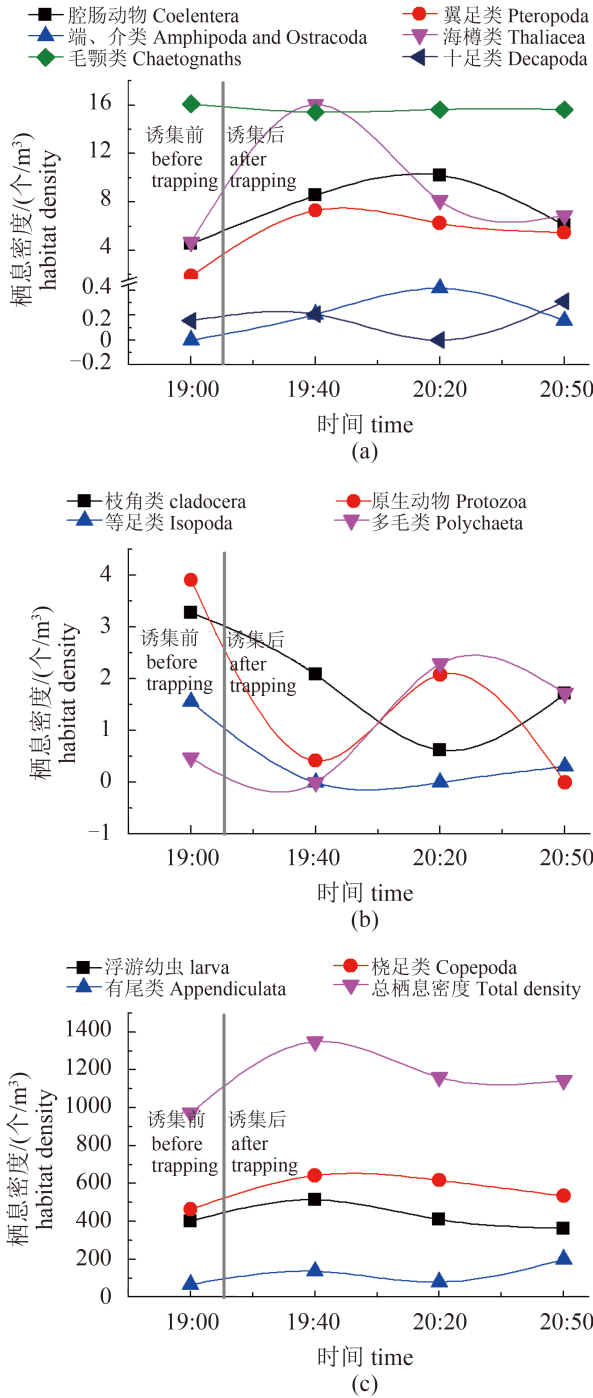


图1 浮游动物数量变化趋势

Fig. 1 The variation tendency of zooplankton density in Nansha Islands waters

诱集后期数量有所降低；上述类群，虽然在诱集期间数量有降低的情况，但诱集后栖息密度仍高于诱集前。诱集后数量减少的类群有毛颚类、枝角类、原生动物、等足类和多毛类。枝角类、原生动物、等足类和多毛类在诱集后数量均明显降低，但原生动物和多毛类呈降低—增

加—再降低的趋势，枝角类和等足类则呈降低—降低—增加的趋势；毛颚类数量呈持续降低的趋势，但降幅不明显。减少类群中，除多毛类数量虽减少但仍高于诱集前外，诱集后枝角类、原生动物、等足类和毛颚类的数量均低于诱集前。

### 2.5 多样性水平

南沙群岛海域表层浮游动物种类组成丰富、多样性水平较高，灯光对浮游动物多样性有所影响。丰富度和多样性指数在诱集后均有增加的趋势，但丰富度在诱集后期有所降低，而多样性指数则呈持续上升的趋势；均匀度指数虽在诱集后略有降低，但仍呈上升趋势(图2)。浮游动物多样性阈值可反映其多样性水平。开灯前及诱集前期，南沙群岛海域浮游动物多样性阈值为3.34~3.38，保持丰富水平；而诱集后期，多样性阈值升至3.56，达到非常丰富水平。

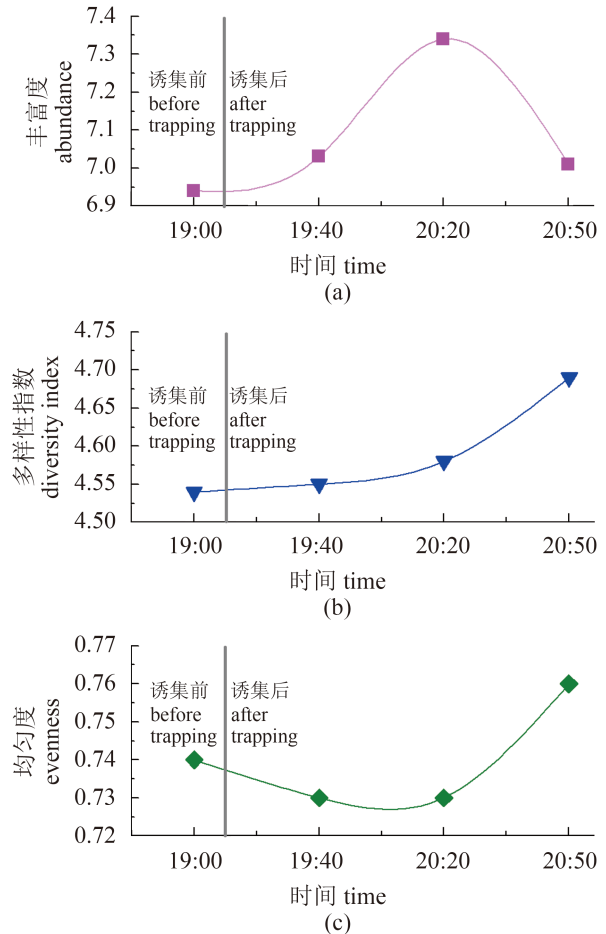


图2 浮游动物多样性指数的变化趋势

Fig. 2 The variation tendency of zooplankton diversity index in Nansha Islands waters

## 2.6 群落结构

聚类分析和多维尺度排序分析表明, 诱集前、后浮游动物群落的相似度较高(60%), 基本上为一个群落; MDS分析的stress=0.19, 表明该结果较好地反映了样本间的相似关系(图3)。说明灯光诱集虽然对浮游动物的种类组成、数量和多样性水平均有所影响, 但尚未改变浮游动物的群落结构。

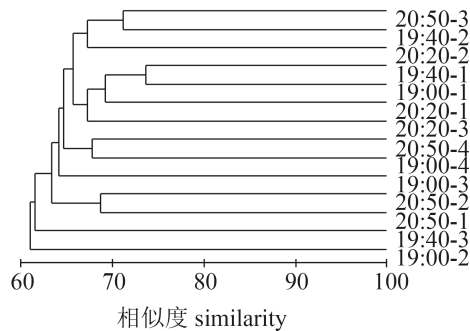


图3 南沙群岛海域表层浮游动物群落结构的聚类分析

xx:xx-x”代表“时:分-第x天

Fig. 3 Cluster ordination of zooplankton in Nansha Islands waters

xx:xx-x means h: min-date

## 3 讨论

### 3.1 人造光对浮游动物群落生态效应

灯光对浮游动物群落的种类组成影响较大, 诱集前浮游动物有14类114种, 诱集后增加至16类168种, 诱集后9种消失、新增72种, 种类组成的更替率高达41%, 表明灯光改变了浮游动物的种类组成结构。实验室和野外的研究都证实光是驱动生物垂直迁移的主要因素, 人造光可以改变自然群落的行为模式<sup>[15-19]</sup>。诱集后新增加的种类应该是在光的驱动下, 从较深水处上浮出现的, 进而使物种丰富度和多样性水平明显增加。浮游动物绝大部分类群对人造光敏感, 但不同类群和种类对光的反应有所差异: 端足类和介形类在诱集后才出现, 水螅水母类、多毛类、翼足类、原生动物、十足类、等足类和海樽类在灯光诱集后的更替率超过50%, 栉水母类、桡足类、毛颚类、有尾类和浮游幼虫诱集后的更替率低于50%, 克氏长角哲水蚤、弓角基齿哲水蚤、漂泊浮蚤和磷虾类无节幼体等在灯

光诱集后不再出现, 还有93种浮游动物灯光诱集后的出现频率明显降低。许多研究都表明, 强月光下生物呈现高数量, 但不同类群却呈现不同的模式<sup>[16, 18, 20]</sup>。Alldredge等<sup>[21]</sup>发现在不同的光强度下, 端足类栖息密度呈明显的变化规律, 但存在种间差异。Navarro-Barranco等<sup>[22]</sup>发现生物即便是在同一个科和属中运动行为都存在明显的差异。生物的运动主要是以摄食为目的, 同一群落中迁移时间的差异可能已经形成一个促进分化资源利用方式, 以实现竞争共存的机制<sup>[23-24]</sup>。此外, 从诱集前后浮游动物种类和优势种聚集强度的变化分析, 不同浮游动物对人造光的适应性存在较明显的差异。因此, 光反应的差异, 一方面是由生物自身的生理特征决定的, 另一方面可能是由不同的摄食策略决定的。

### 3.2 浮游动物数量变化

灯光引起的浮游动物上浮, 使表层的浮游动物数量明显增加, 生物量从147.50增至195.63 mg/m<sup>3</sup>, 栖息密度由972增至1350个/m<sup>3</sup>。Navarro-Barranco等<sup>[22]</sup>研究也表明, 人造光可引起浮游动物整个群落数量的显著增加, 其中钩虾属(*Gammarus*)的栖息密度增幅高达8倍。可见人造光使浮游动物数量明显增加, 对其影响较为显著。但是这种增加趋势并不是持续的, 在后期浮游动物生物量和栖息密度都出现了不同程度的降低。浮游动物生物量在诱集后1 h由195.63降至186.88 mg/m<sup>3</sup>。栖息密度从开灯后30 min开始, 从1350降至1143个/m<sup>3</sup>。在海洋环境中, 人造光可直接增加鱼类和其他捕食者的摄食强度<sup>[25]</sup>。灯光除对中、上层鱼类和头足类有明显的诱集作用外, 同时也提高了其摄食强度。因此, 作为游泳生物的重要饵料, 浮游动物在后期数量下降可能是由于被捕食所致。

### 3.3 人造光的生态影响

绝大部分物种在自然形成的有规律的月光、阳光和星光交替的机制下进化。这种机制明确了物种夜间、黄昏和日间的活动时间, 提供有效的游动导航辅助, 帮助调节和协调性成熟和繁殖活动, 形成相对固定的发射光谱, 以调节生理机能和指引由视觉产生的行为, 如摄食和集群等<sup>[26]</sup>。人造光改变了自然光的颜色、光变换周期和夜间光的强度, 其中任何一种变化都会引发多种生物过程的改变。已知和潜在的影响

包括洄游、繁殖、补充、捕食和被捕食关系、海洋生态系统种间的信息交流,包括世界上最具生物多样性和重要功能的海洋生态系统<sup>[27]</sup>。人造光使依靠自然光飞行导航和活动的海鸟和海龟迷失方向<sup>[28-29]</sup>,产卵后的雌海龟和孵化后的稚海龟无法及时返回大海<sup>[28]</sup>,最终导致光影响区内海龟筑巢产卵的数量降低<sup>[30]</sup>。目前已经证实,人造光对许多鱼类的行为都产生影响<sup>[31]</sup>。如影响大西洋鲑(*Salmo salar*)栖息深度的选择<sup>[32]</sup>,人造光区鱼类集群现象明显<sup>[25]</sup>,也形成了灯光诱集渔业<sup>[33]</sup>。在渔业中大范围使用高强度的人造光,可能会大范围地影响目标渔业种类和非目标物种的行为和生存<sup>[27]</sup>。

人造光污染是全球性的环境问题,然而,目前对于人造光是如何影响这些在海洋生态系统中由周期性夜间自然光形成的物种的行为及其相互作用知之甚少,人造光对海洋生态系统影响的相关研究和认知不足,难以制定可操作的有效保护措施<sup>[27]</sup>。因此,虽然灯光诱集能提高渔获产量,目前我国在大范围开展灯光诱集渔业的同时,应该重视和加强其生态效应的科学研究,严格限制诱集灯的强度、适当限制灯光诱集渔业的发展,大力研发其他可替代的环境友好型渔业作业方式,以切实保护海洋生态系统、维持海洋中、上层渔业的可持续发展。

感谢中国科学院南海海洋研究所陈清潮研究员、厦门大学黄加祺教授和许振祖教授、国家海洋局第三海洋研究所陈瑞祥研究员和林茂研究员在样品鉴定过程中,中国水产科学研究院南海水产研究所邱永松研究员在英文摘要写作中,晏磊、李杰和谷洋洋在样品采集和数据处理过程中给予的帮助!

#### 参考文献:

- [1] Morales C E, Bedo H A, Harris P, *et al.* Grazing of copepod assemblages in the north-east Atlantic: the importance of the small size fraction[J]. *Journal of Plankton Research*, 1991, 13(2): 455-472.
- [2] 王荣,张鸿雁,王克,等.小型桡足类在海洋生态系统中的功能作用[J].*海洋与湖沼*, 2002, 33(5): 453-460.  
Wang R, Zhang H Y, Wang K, *et al.* Function performed by small copepods in marine ecosystem[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(5): 453-460 (in Chinese).
- [3] 熊瑛,王云龙,汤建华,等.黄海南部大型水母暴发区中小型浮游动物生态特征[J].*生态学杂志*, 2009, 28(10): 2063-2068.  
Xiong Y, Wang Y L, Tang J H, *et al.* Ecological characteristics of meso-and micro-zooplankton in macro-jellyfish bloom areas of Southern Yellow Sea[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(10): 2063-2068 (in Chinese).
- [4] 吴玲玲,朱艾嘉,郭娟,等.珠江口夏季中、小型浮游动物生态特征研究[J].*海洋通报*, 2012, 31(6): 689-694.  
Wu L L, Zhu A J, Guo J, *et al.* Ecological study on meso-zooplankton and micro-zooplankton in the Pearl River estuary in summer[J]. *Marine Science Bulletin*, 2012, 31(6): 689-694 (in Chinese).
- [5] 王真良,刘晓丹.北黄海浮游动物昼夜垂直移动的初步研究[J].*黄渤海海洋*, 1989, 7(4): 50-54.  
Wang Z L, Liu X D. A preliminary research on diel vertical migration of zooplankton in north Huanghai sea (Yellow Sea)[J]. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 1987, 7(4): 50-54 (in Chinese).
- [6] 陶振铨,张武昌,孙松.可见光和紫外光对浮游动物行为的影响[J].*海洋科学*, 2004, 28(9): 56-61.  
Tao Z C, Zhang W C, Sun S. The wave-specific influence of visible and ultraviolet light on zooplankton behaviour[J]. *Marine Sciences*, 2004, 28(9): 56-61 (in Chinese).
- [7] 夏章英.广东灯光围网渔业[J].*水产科技情报*, 1978(6): 1-6.  
Xia Z Y. Guangdong light purse seine fishery[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 1978(6): 1-6 (in Chinese).
- [8] 杨齐,张旭丰,张鹏,等.南海区海洋小型渔具渔法[M].广州:广东科技出版社,2007.  
Yang L, Zhang X F, Zhang P, *et al.* Nanhai district of small marine fishing gear and methods[M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 2007 (in Chinese).
- [9] 张鹏,曾晓光,杨齐,等.南海区大型灯光罩网渔场渔期和渔获组成分析[J].*南方水产科学*, 2013, 9(3): 74-79.  
Zhang P, Zeng X G, Yang L, *et al.* Analyses on fishing ground and catch composition of large-scale light falling-net fisheries in South China Sea[J]. *South China Fisheries Science*, 2013, 9(3): 74-79 (in Chinese).

- [10] 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/T12763. 6-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 34-38.
- 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/T12763. 6-2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007: 34-38(in Chinese).
- [11] 连光山, 林玉辉, 蔡秉及, 等. 大亚湾浮游动物群落的特征[C]. 国家海洋局第三海洋研究所. 大亚湾海洋生态文集(II). 北京: 海洋出版社, 1990: 180-186.
- Lian G S, Lin Y H, Cai B J, *et al.* Characteristics of zooplankton community in Daya Bay[C]. Third Institute of Oceanography State Oceanic Administration. Collections of Papers on Marine Ecology in the Daya Bay(II). Beijing: Oceanic Press, 1990: 180-186 (in Chinese).
- [12] 陈清潮, 黄良民, 尹健强, 等. 南沙群岛海区浮游动物多样性研究[C]. 南沙群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究I. 北京: 海洋出版社, 1994: 42-50.
- Chen Q C, Huang L M, Yin J Q, *et al.* Diversity of zooplankton in Nansha Archipelago[C]. Diversity of Halobios in Nansha Archipelago and Adjacentwaters I. Beijing: Oceanic Press, 1994: 42-50 (in Chinese).
- [13] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲑鳕渔场的关系[J]. 生态学杂志, 1989, 8(4): 13-15.
- Xu Z L, Chen Y Q. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Ecology, 1989, 8(4): 13-15 (in Chinese).
- [14] 赵志模, 周新远. 生态学引论[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1984.
- Zhao Z X, Zhou X Y. Introduction to Ecology[M]. Chongqing: Science and Technology Literature Press, Chongqing Branch, 1984 (in Chinese).
- [15] Jansson B O, Klander C. On the diurnal activity of some littoral peracarid crustaceans in the Baltic Sea[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1968, 2(1): 24-36.
- [16] Tranter D J, Bulleid N C, Cambell R, *et al.* Nocturnal movements of phototactic zooplankton in shallow waters[J]. Marine Biology, 1981, 61(4): 317-326.
- [17] Saigusa M, Oishi K. Emergence rhythms of subtidal small invertebrates in the subtropical sea: nocturnal patterns and variety in the synchrony with tidal and lunar cycles[J]. Zoological Science, 2000, 17(2): 241-251.
- [18] Anokhina L L. Influence of moonlight on the vertical migrations of benthopelagic organisms in the near-shore area of the Black Sea[J]. Oceanology, 2006, 46(3): 385-395.
- [19] Nakajima R, Yoshida T, Othman B H R, *et al.* Diel variation of zooplankton in the tropical coral-reef water of Tioman Island, Malaysia[J]. Aquatic Ecology, 2009, 43(4): 965-975.
- [20] Drazen J C, De Forest L G, Domokos R. 2011. Micronekton abundance and biomass in Hawaiian waters as influenced by seamounts, eddies, and the moon[J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2011, 58(5): 557-566.
- [21] Alldredge A L, King J M. Effects of Moonlight on the vertical migration patterns of demersal zooplankton[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1980, 44(2): 133-156.
- [22] Navarro-Barranco C, Hughes L E. Effects of light pollution on the emergent fauna of shallow marine ecosystems: amphipods as a case study[J]. Marine Pollution Bulletin, 2015, 94(1-2): 235-240.
- [23] Branch G M. Competition between marine organisms: ecological and evolutionary implications[J]. Oceanography and Marine Biology (an Annual Review), 1984, 22: 429-593.
- [24] Beermann J, Franke H D. Differences in resource utilization and behaviour between coexisting *Jassa* species (Crustacea, Amphipoda)[J]. Marine Biology, 2012, 159(5): 951-957.
- [25] Becker A, Whitfield A K, Cowley P D, *et al.* Potential effects of artificial light associated with anthropogenic infrastructure on the abundance and foraging behaviour of estuary-associated fishes[J]. Journal of Applied Ecology, 2012, 50(1): 43-50.
- [26] Gaston K J, Bennie J, Davies T W, *et al.* The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal[J]. Biological Reviews, 2013, 88(4): 912-927.
- [27] Davies T W, Duffy J P, Bennie J, *et al.* The nature,



- extent, and ecological implications of marine light pollution[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2014, 12(6): 347-355.
- [28] Tuxbury S M, Salmon M. Competitive interactions between artificial lighting and natural cues during seafinding by hatchling marine turtles[J]. *Biological Conservation*, 2005, 121(2): 311-316.
- [29] Merkel F R. Light-induced bird strikes on vessels in Southwest Greenland[R]. Technical Report No 84. Pinngortitaleriffik, Greenland: Greenland Institute of Natural Resources, 2010.
- [30] Mazor T, Levin N, Possingham H P, *et al.* Can satellite-based night lights be used for conservation? The case of nesting sea turtles in the Mediterranean[J]. *Biological Conservation*, 2013, 159: 63-72.
- [31] Marchesan M, Spoto M, Verginella L, *et al.* Behavioural effects of artificial light on fish species of commercial interest[J]. *Fisheries Research*, 2005, 73(1-2): 171-185.
- [32] Siebeck U E, Parker A N, Sprenger D, *et al.* A species of reef fish that uses ultraviolet patterns for covert face recognition[J]. *Current Biology*, 2010, 20(5): 407-410.
- [33] Doherty P J. Light-traps: selective but useful devices for quantifying the distributions and abundances of larval fishes[J]. *Bulletin of Marine Science*, 1987, 41(2): 423-431.

## Effects of light trap on meso-and micro-zooplankton communities in the waters of Nansha Islands, South China Sea

DU Feiyan\*, WANG Lianggen, WANG Xuehui, GU Yangguang, CHEN Sen, ZHANG Peng

(Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Guangdong Province;  
Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization,  
Ministry of Agriculture; South China Sea Fisheries Research Institute,  
Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** From May 21 to 23 and on May 27, 2014, during light falling net fishing operations in the central Nansha Islands waters, the samples of meso-and micro-zooplankton were collected and analyzed to investigate their changes before and after the light trap. The results showed that zooplankton were sensitive to artificial light at night; the community of zooplankton was affected by artificial nighttime light. A total of 178 zooplankton species belonging to 16 groups were recorded before and after the traps. The results show that the number of species increased after traps. The succession rate of species compositions was estimated at 41%, except Cladocera, all the 15 groups of zooplankton showed significant changes in species composition. Except for the Protozoa which showed a decline in species number, all groups showed a tendency of increased species number after traps. The results also indicated that most of the zooplankton species are sensitive to light traps, either positive or negative, and the occurring frequency of dominant species decreased obviously after light traps. The dominant species composition was changed after light traps (replacement rate was 50%). Before light traps, the Copepoda was the main dominant species. The dominant degree of Appendiculata was dramatically enhanced after light traps. The dominant species of meso-and micro-zooplankton in Nansha Islands trended towards cumulative distribution. All dominant species were sensitive to artificial light. The adaptation to light was different between species. Most dominant species had high adaptation to light; their aggregation intensity was enhanced after light traps, such as Oikopleuridae. The aggregation intensity of *Farranula gibbula* and *Corycaeus agilis* was reduced after light traps. At first, the aggregation intensity of Copepoda larvae and *Acartia negligens* was enhanced, but then the intensity was significantly reduced. Biomass and density of zooplankton were significantly increased in the overall trend, with the largest increase occurring during the initial trap, then declined, but still remaining higher than before the trap. As increase in nekton feeding intensity led to the fall of zooplankton. Although the species richness and diversity were significantly improved by the light trap, the structure of the zooplankton community did not change. Zooplankton species react to artificial light, and the difference between groups is determined by the biological and physiological characteristics of different feeding strategies. Artificial light pollution is a global environmental issue, the ecological impacts of which are only now beginning to be examined in detail. Current knowledge of these impacts in marine ecosystems is insufficient. Although the light trap increases production, but it is important to pay attention to and strengthen the ecological effects of science, and strictly limit the intensity of light trapping with appropriate restrictions on the development of light trap fisheries.

**Key words:** meso-and micro-zooplankton; ecological effect; light trap; Nansha Islands; South China Sea

**Corresponding author:** DU Feiyan. E-mail: feiyanegg@163.com

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China (41406188); China Ministry of Science and Technology (2013BAD13B06); Guangdong Provincial Program of Science and Technology (2014A020217011)