

蓝圆鲹和鲈鱼趋光行为的研究*

俞文钊 何大仁 郑玉水

(上海生理研究所) (厦门大学) (东海水产研究所)

关于鱼类趋光特性的研究,国外已有报导^[1]。例如,鱼在光梯度条件下选择最适照度区^[2-7]、不同生理生态因素^[8-12]、月光^[13-15]、颜色光^[16-22]对鱼类趋光性的影响等已有不少研究。

蓝圆鲹 (*Decapterus maruadsi* T. & S.)、鲈鱼 (*Pneumatophorus japonicus* Houtt) 是我国主要的中上层鱼类资源。为此,通过光梯度实验,研究这两种鱼属于哪种趋光类型及其最适照度区的范围,研究背景光(模拟月光)、不同颜色光对它们的趋光性的影响,这些都将对灯光捕捞实践中光强范围、颜色光的选择、克服月光影响的措施等提供重要的科学根据。

我们曾对上述内容作过一些初步的报导^[23-25],现拟在本文中全面、系统、概括地阐述蓝圆鲹和鲈鱼的趋光行为特性。

一、实验材料和方法

蓝圆鲹和鲈鱼的实验地点及所用材料详见表1。除上述两种鱼外,还用扁颌针鱼 (*Ablennes anastomella* C. & V.)、天竺鲷 (*Apogon lineatus* T. & S.)、梭鲈 (*Mugil carinatus* C. & V.) 等作对照。

表1 实验材料综合表

品 种	地 点	时 间	叉长(厘米)	数量(尾次)	实 验 海 水 水 温(°C)	实 验 海 水 盐 度(‰)
蓝 圆 鲹	福建东山	1972年8—9月	8—13	10	26.0—27.9	25.5—34.1
蓝 圆 鲹	广东港口	1973年4—5月	10—12	7	23.5—25.7	24.1—33.5
蓝 圆 鲹	广东港口	1973年4—5月	22—25	10	22.2—25.0	30.8—32.9
鲈 鱼	山东青岛	1973年8—9月	8—16	36	24.5—27.0	27.1—29.1

本文1979年7月19日收到。

*参加厦门和东山部分实验工作的还有:上海生理研究所陈明;厦门大学海洋系张其永、郑美丽、黄玉霖;东海水产研究所郁连春、王幼槐;厦门渔捞公社、东山渔业四队、港口一队、青岛水族馆提供实验材料及基地。一并致谢。

光梯度实验水槽有二：一是 $198 \times 38 \times 38$ (厘米) 的塑料水槽, 两端均为有机玻璃壁, 为了防止光线反射, 槽内壁加一黑布套。另一是 $300 \times 80 \times 80$ (厘米) 的帆布水槽, 两端各开有 60×40 (厘米) 的有机玻璃窗, 内壁涂了一层黑色塑料防止光线反射。

实验中先后采用了两种光源: 白炽灯泡和汽车灯泡。用毛玻璃和照相底片制成的中性滤光片来调节照度。实验用的水槽及光源布置详见图 1。从图中可见, 水平照明时, 水槽内各点上的光照度随距离的延长而有规则地下降, 获得一较均匀的光梯度。垂直照明时, 水槽光源端 40 厘米处形成一个最亮的照明区, 从 40 厘米开始照度急剧下降, 形成一个对比很强的亮、暗交界区, 所以在此获得的则是非均匀的光梯度。

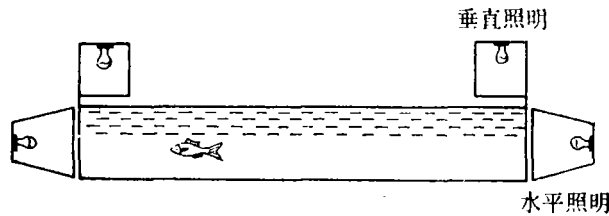


图1 实验水槽及光源布置

水槽内之照度测量采用日本 WL-2 型水下照度计 (测量范围为 1—1000 勒克司) 以及东海水产研究所自制水下照度计 (测量范围为 10^{-3} —1 勒克司) 两种。

根据实验目的和统计上的方便, 人为地把水槽内照度变化划分成区, 在一次实验中光梯度区域仅分成两个区, 如水平照明时以每一对数单位的照度 0.01—0.1 勒克司为一区, 0.1—1.0 勒克司为另一区, 由这二区组成为一组光梯度。水平照明实验中共采用三组光梯度。垂直照明时, 由于光强的急剧变化以明显的亮、暗交界处 40 厘米为界, 之前的照度范围为一区, 之后的照度范围为另一区。

在月光下, 厦门港内水面上照度为 0.18 勒克司, 水面下为 0.06 勒克司, 在水下 0.5 米处为 0.03 勒克司, 为了模拟这个月光, 在水槽的正上方 60 厘米处悬挂一盏用自制半导体推挽振荡器来调节的日光灯, 使水面的照度为 0.12 勒克司作为背景光的刺激。

为进行颜色光实验, 采用 ILFORD 滤色片, 型号为 601(紫色)、602(蓝色)、603(蓝—绿色)、604(绿色)、606(黄色)、607(橙色)、608(红色)。实验中用分光光度计测定了滤色片的光谱特性, 用真空热电偶 (Hilgel-FT25·301 型) 测定光源通过滤色片至水槽的相对能量。这一试验中主要测定等能量条件下不同颜色光对鱼趋光率的影响。

每次实验一般采用一尾鱼(鲑鱼做了群体实验), 实验前把鱼放入水槽在暗室中进行暗适应一小时, 每组光梯度实验时间为 5 分钟, 各组光梯度实验之间间隔一分钟, 为了避免光适应的影响, 一个系列实验中光强采取由弱到强的方式进行调节。不同系列实验之间都要重新暗适应, 为除去光源位置的影响, 在左端做完实验后立刻换到右端重复实验一次。每次实验前, 鱼都处在水槽中间的固定位置上, 用定时钟连续记录鱼在不同照度区分布的时间, 并观察记录鱼的趋光范围。

关于鱼在不同照度区内的分布时间是以鱼在各区停留时间占灯光呈现总时间(五分钟)之百分比来表示, 而趋光率是以鱼趋向相对强的照度区的相对时间来表示。

在背景光实验中, 先将鱼进行水平光梯度实验, 随后在背景光下适应一小时, 再进行光梯度实验, 实验结果用有无背景光时趋光率的相对百分数表示。

单色光实验中, 以鱼在五分钟内进入离光源端 40 厘米范围内的时间的百分比 作为对单色光刺激的趋光率。

对实验结果进行了统计分析, 应用 t 检验比较不同照度区内分布时间的差异显著性。

二、实验结果

(一) 蓝圆鲹和鲈鱼的趋光类型及其在光梯度内的最适照度区

比较五种海水鱼的实验结果 (图 2) 表明, 在四组光梯度中, 扁颌针鱼始终 (接近百分之百) 分布在每一组光梯度内的相对最强的照度区内, 而在相同条件下天竺鲷则始终稳定地 (也接近百分之百) 分布在每一组光梯度内的相对最弱的照度范围内, 而蓝圆鲹 (幼、成鱼)、鲈鱼 (幼鱼)、棱鲛幼鱼的趋光性介于扁颌针鱼与天竺鲷之间, 各具不同特点。这说明蓝圆鲹 (幼、成鱼) 和鲈鱼 (幼鱼) 都属于对光有正反应, 但不属于趋最强光的一种类型, 其中蓝圆鲹 (幼、成鱼) 之趋光性比鲈鱼 (幼鱼) 强。

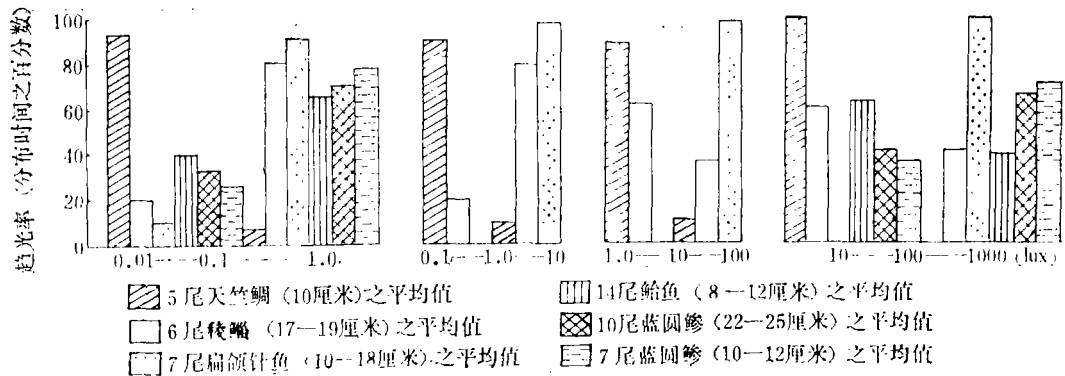


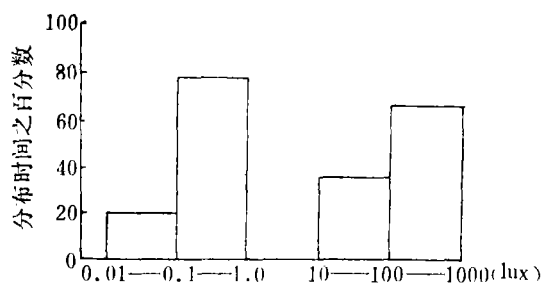
图2 五种海水鱼在水平照明光梯度内趋光性的比较

蓝圆鲹在水平照明光梯度内 (图 3) 和垂直照明光梯度内 (图 4) 的分布时间表明, 在水平光梯度内蓝圆鲹自 10^{-1} 至 10^3 勒克司的照度区内都表现出趋光性, 而在垂直照明的光梯度内, 蓝圆鲹在弱照度区游动时间长, 在强照度区游动时间短, 其游动时间的比例为 1:4。

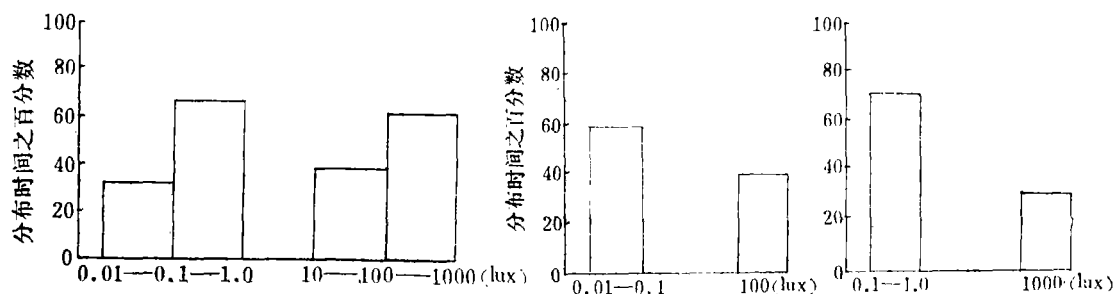
分析鲈鱼在水平照明光梯度内 (图 5) 之分布时间表明, 其最适宜的照度区为 0.01—14 勒克司范围内。

(二) 背景光 (模拟月光) 对蓝圆鲹、鲈鱼趋光性的影响

从图 6 可见, 背景光对蓝圆鲹在水平光梯度内之趋光性有抑制性的影响, 但随着光源强度的提高其影响有减弱的趋势, 此种现象幼鱼比成鱼表现强, 背景光对鲈鱼在水平光梯



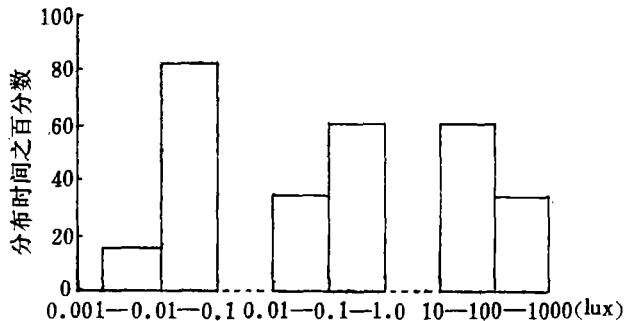
a. 7尾蓝圆鲽幼鱼 (10—12厘米)之平均值



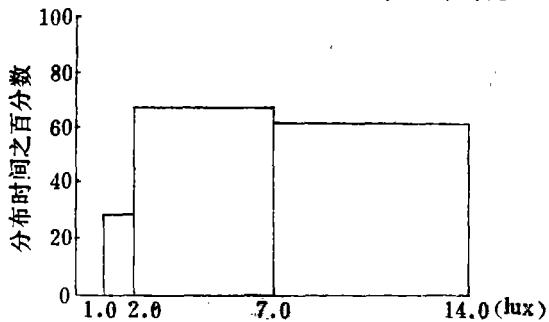
b. 10尾蓝圆鲽 (22—25厘米)之平均值

图3 蓝圆鲽在水平照明光梯度内不同照度区的分布时间

图4 12尾蓝圆鲽 (8—13厘米)在垂直照明光梯度内不同照度区的分布时间



a. 14尾鲑鱼 (8—12厘米)之平均值



b. 5尾鲑鱼 (8—14厘米)之平均值

图5 鲑鱼在水平照明光梯度内不同照度区的分布时间

度内之趋光性也有抑制性影响, 同样随光强的增加背景光的影响减弱, 趋光性增强。此外, 从上述结果的比较中可见, 背景光对鲑鱼比对蓝圆鲹趋光率的影响大。

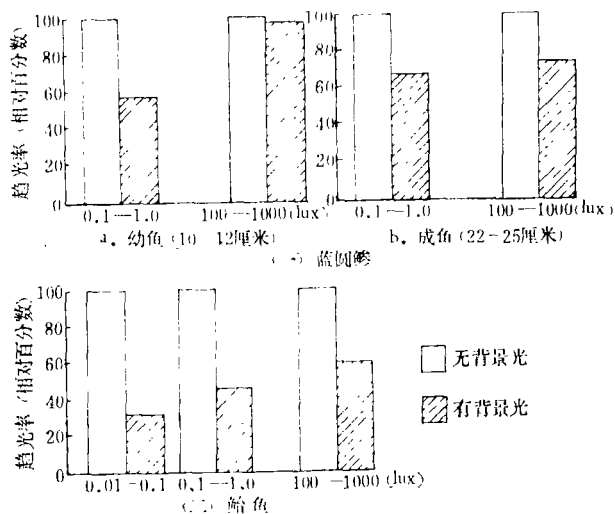


图6 背景光对蓝圆鲹和鲑鱼趋光性的影响

(三) 蓝圆鲹、鲑鱼对颜色光的趋光反应

蓝圆鲹、鲑鱼对等能量不同颜色光的趋光反应的实验结果(图7)表明, 在暗适应条件下, 蓝圆鲹幼鱼、成鱼对蓝、绿色光的趋光率最高, 对红光的趋光率最低。由暗适应向明适应过渡后, 引起趋光率最高的颜色光移向黄、绿色光。但是实验中也观察到了无论在暗适应和明适应条件下, 鲑鱼都对紫光 and 红光有最大的趋光率。此外, 实验结果还表明, 无论是蓝圆鲹或是鲑鱼, 对白光的趋光率都低于能引起最大反应的颜色光。

三、结果讨论

趋光性是指动物对光刺激产生定向运动的特性, 朝向光源的定向运动叫正趋光性, 远离光源的定向运动叫负趋光性。大量实验表明, 鱼的趋光类型是有区别的, 有的趋强光, 有的趋弱光, 有的甚至避光。此外, 鱼类的趋光反应还受各种内部因素(鱼的年龄、生理状态; 性成熟、饥饿状态等)和外部环境因素(水温、水的透明度、潮流等)的影响。因此, 分析鱼的趋光类型和适宜照度区时必须是有条件的, 即鱼的趋光特性是受各种内部和外部因素影响, 并非固定不变的。从实验结果看, 照明的方式不同(水平或垂直照明)时蓝圆鲹的最适照度区也有区别, 如在水平照明时的最适照度区为 10^{-1} — 10^3 勒克司, 垂直照明时则在弱照度区的游动时间长。此外, 温度对鱼的趋光性影响也很大, 把在港口和东山实验的蓝圆鲹(都是幼鱼)进行比较, 实验水温港口比东山低(相差 2.2 — 2.5°C)时前者的趋光性就比后者强。另外, 实验中也观察到年龄因素的影响, 即幼鱼比成鱼趋光性

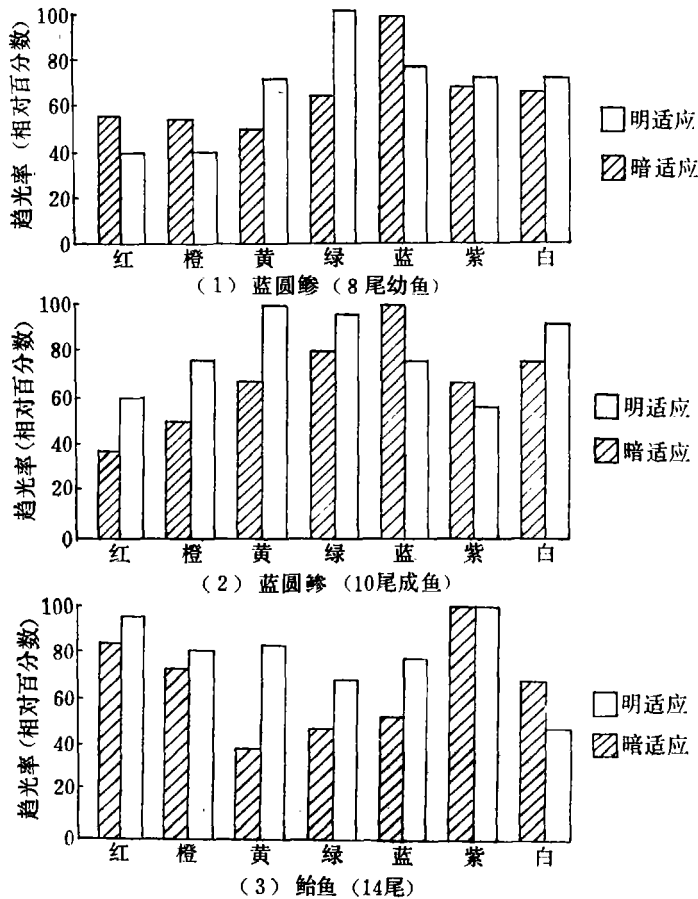


图7 蓝圆鲷、鲈鱼在等能量条件下对不同颜色光的趋光反应

强。通过实验所确定的蓝圆鲷和鲈鱼的趋光类型及其适宜照度区是同生产上实践经验基本一致的，这样本实验结果既为生产实际提供了科学根据，在具体的光诱捕捞中也将成为指导性的参考意见。

从视觉生理角度解释背景光对鱼类趋光行为的影响时，可以认为，月光虽然作为一种弱光刺激，但长期作用于鱼眼后会改变鱼眼的适应状态，降低鱼眼对刺激光源的敏感性，因而导致光诱作用的面积减小，趋光率显著降低。此外，在背景光存在时鱼眼对刺激光的辨增阈的增加程度还决定于背景光和刺激光之间的相对强度，以及不同鱼的原有趋光特性。例如，蓝圆鲷比鲈鱼趋光性强，因而受背景光的抑制性影响小，同理，蓝圆鲷幼鱼受背景光的影响更小。克服背景光影响的途径之一就是增加刺激光（即灯光）的强度。

颜色光的实验表明，蓝圆鲷和鲈鱼的趋光反应还取决于光的波长特性。这是因为视网膜对不同波长光的敏感性是不一样的。大多数淡水鱼和海水鱼都有二个光谱敏感曲线，即暗视和明视条件下的光谱敏感曲线。当由光适应向暗适应过渡时光谱敏感曲线的峰值向短波处移动，这种现象称之为伯金奇位移(Purkinje shift)。从我们的实验结果看，蓝圆鲷和鲈鱼对颜色光的趋光反应有明显的差别。蓝圆鲷在暗视条件下对蓝、绿光的趋光率最高，

而在明视条件下则对黄、绿光的趋光率最高。在这种情况下, 可以认为在明视和暗视条件下蓝圆鲹对颜色光的趋光反应和视网膜对不同颜色光的光谱敏感性相一致的。为此可以认为, 后者是趋光行为的视觉生理机制。但是在鲈鱼的实验中却获得了另一结果, 即在明视和暗视时趋光反应有二个峰值, 一个在红色处, 另一个在紫色处。这种现象在鳗鲡^[10]、竹筴鱼^[25]、秋刀鱼^[5]上都曾观察到过。那么如何来解释这一现象呢? 可以设想, 行为反应是鱼对外界环境的一种整体反应, 所以除了视觉机制参与外, 是否还存在更高一级的机理在起制约作用呢? 颜色光的最大光诱作用是否与其信号意义相联系? 总之, 对这一现象的解释尚有待进一步的实验来证实。

四、结 论

1. 蓝圆鲹和鲈鱼在光梯度条件下的趋光特性受光照方式、温度、年龄等内外因素的影响。实验结果所分析的两种鱼的趋光类型和适宜照度区虽是有条件的, 但却是与生产实践经验相一致的。

2. 背景光(模拟月光)对蓝圆鲹和鲈鱼的趋光率都有抑制性的影响, 这种影响的程度决定于背景光与刺激光之间的相对强度及鱼的原有趋光特性。

3. 蓝圆鲹在由暗视向明视过渡时, 对颜色光的最大趋光率由蓝、绿光区移向黄、绿光区, 而鲈鱼在暗、明视条件下有二个最大趋光率, 一个在红光区, 一个在紫色光区。

参 考 文 献

- (1) 俞文钊, 鱼类趋光生理, 农业出版社, 1980.
- (2) Imamura Yutaka., *J. of the Tokyo University of Fisheries.*, 44 (1958), 5, 75—89.
- (3) Imamura Yutaka., *J. of the Tokyo University of Fisheries.*, 45 (1959), 2, 185—193.
- (4) Jones, F. R. H., *J. of exp Biol.*, 33 (1956), 2, 271—281.
- (5) Pinhorn, A. T. and Andrews, C. W., *J. of Fish Res. Bd. Canada*, 22 (1965), 2, 269—385.
- (6) Woodhead, P.M.J., *J. of Exp. Biol.*, 33 (1956), 2, 257—269.
- (7) Гирса, И.И., *Вопр. ихт.*, 6 (1966), 1, 127—139.
- (8) Волкова, Л.А. *Вопр. ихт.*, 7 (1967), 2 (43), 372—377.
- (9) Волкова, Л.А., *Вопр. ихт.*, 10 (1970), 1, 143—156.
- (10) Гирса, И.И., *Вопр. ихт.*, 9 (1969), 1, 172—183.
- (11) Гирса, И.И., *Вопр. ихт.*, 12 (1972), 3, 554—560.
- (12) Зуссер, С.Г., *Реакция ставриды на свет в зависимости от степени её накормленности. Тр. ВНИРО*, 60 (1966).
- (13) Kawamoto, N. (川本信之), *Rept. Fac. Fish. Pref. Univ. Mil.*, 1 (1955), 3, 355—364.
- (14) Maeda, H. (前田弘), *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 22, 1, 1—4.
- (15) Maeda, H. (前田弘), *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 22 (1956), 1, 5—8.
- (16) Imamura, Y. & Koike, A., *J. Tokyo. Univ. Fisheries*, 45 (1959), 2, 185—193.

- (17) Kawamoto, N., Takeda, M., *Pept.Fac. Fish. Pref. Univ. Mil.*, 1 (1955), 1, 41—53.
- (18) Kuss, G.V., *The Fishing News*, 22 November.
- (19) Sasaki, T., *Modern Fishing Gear of the World*, London, 556—557.
- (20) Борисов, П. Г., Тр. Совещания по вопросам поведения и разведки рыб, М. Изд. АН СССР, 1955, 121—143.
- (21) Мойсеева, Е. Б., Поведение и рецепции рыб, изд. Наука, М., 1967.
- (22) Протавов, В. Р., Зрение и Ближняя Ориентация рыб, Изд. Наука, М., 1968.
- (23) 俞文钊、何大仁、郑玉水, 厦门大学学报(自然科学版), 1978, 4, 1—13.
- (24) 俞文钊、何大仁、郑玉水, 厦门大学学报(自然科学版), 1978, 4, 14—18.
- (25) 俞文钊、何大仁、郑玉水, 厦门大学学报(自然科学版), 1979, 2, 126—130.

STUDIES ON THE PHOTOTACTIC BEHAVIOR OF ROUND SCAD AND CHUB MACKEREL

Yu Wenzhao , He Daren

(*Shanghai Institute of Physiology*) (*Xiamen University*)

and Zheng Yushui

(*East China sea Fisheries Research Institute*)

ABSTRACT

1. Phototaxis of Round scad and chub Mackerel in different photogradient is influenced by the external and internal factors, such as illuminating system, temperature and age. Experimental results show that although the type of phototaxis and optimum illumination depend on experimental conditions, they are in agreement with the experience of production practice.

2. Back ground light (imitation of moon light) has an inhibitory effect on phototactic ratio of Round Scad and Chub Mackerel. The degree of inhibition depends on the relative intensity between background light and stimulating light and on the phototactic character of fishes.

3. In transition from dark to light vision, the greatest phototactic ratio of Round scad changes from blue-green light region to yellow-green light region correspondingly, it displays the purkinje shift phenomenon. Chub Mackerel under dark and light conditions has two greatest phototactic ratio in red and violet light regions.