

文昌鱼的光动反应*1)

邵 郊

北京大学心理系

林国彬 陈劭夫

中国科学院心理研究所

文昌鱼的中枢神经系统早在上个世纪就受到神经解剖学家们^[1]的注意。这是因为它代表着动物演化上的一个很典型的阶段。在这个阶段,动物身体的背侧开始有了神经管。这个神经管在外形上很象脊椎动物胚胎初期形成的神经管,其内部的神经组织也较简单^[2]。此外,正如神经管初成阶段的脊椎动物胚胎一样,文昌鱼还不具备发育的和特异化的感觉器官。虽然今天活着的文昌鱼并不是有头的脊椎动物的祖先,但它的形态特征无疑是近似脊椎动物的原始形式的。所以它早就获得了活化石的称号。可惜的是,人们对这种活化石的行为节目尚缺乏系统的实验研究。

我国青岛产文昌鱼生活于水深10米到20米的泥沙和贝类遗骸的混合物中。它们整个身体钻入其中,经常只有头部露在外面。借助口须的波动以吸取浮游生物作为食物。成年的文昌鱼是很不活跃的。

令人发生兴趣的是,这种生活在光线比较暗的海底沙中的动物,其脊髓中却有许多光受纳器^[3]或叫作脊髓眼的带有色素层的细胞^[4]。研究者们推测,这些细胞可能和文昌鱼的螺旋式的游泳活动有关^[4],也可能与激素的分泌或昼夜节律有关^[5]。但是文昌鱼对光的反应究竟如何,并无实验资料可供鉴证。本文所报告的实验只是这方面工作的一个初步探索。

实验 I. 文昌鱼对各种波长和强度的光的反应

实验动物 110条活力正常的产卵期青岛文昌鱼 (*Bronchiostoma belcheri ting-tauense*)。

实验设备 ZZHD型幻灯机(钨丝白炽灯150瓦);各色赛璐珞滤光片** (蓝-459毫微米;中灰;绿-534毫微米;黄-577毫微米;橙-602毫微米;红-635毫微米;品红-638毫微米;有机玻璃水槽两个(高330毫米,长220毫米,宽80毫米)停表和可以计到0.05秒的晶体管计时器各一具。

实验是在光线微弱的地下室中进行的,室温在22°C左右。幻灯机的投射镜头同水槽的水平距离为50厘米。水槽除对着镜头的这一面外,其它各面皆用黑色纸板遮盖。水槽与幻灯机分别放置在两个不相接触的桌子上,以避免开、关幻灯机时的震动影响文昌鱼的

* 本实验得到山东海洋学院李嘉泳教授和中国科学院海洋研究所吴尚勤教授的帮助,谨此致谢。

1) 本文1980年11月10日收到。

** 这些滤光片是在可能得到的条件下选择出来的。

反应。

实验步骤 用小纱布网从培养缸的细沙中捞文昌鱼一条,放入盛有新鲜海水而没有细沙的有机玻璃水槽中。经数秒钟激烈的 S 形游动后,文昌鱼即僵直不动,徐徐下沉并平躺在水槽底。如不受干扰可经久不动。然后把水槽置于暗处十余分钟再轻轻地移至实验桌上的固定位置。在两分钟内如不见其有任何动作时便开始用某一种单色光(或白光)照射,并记录其反应。每一种光是在被试对前一种光的反应平息后一分钟给予。各色光以随机的次序呈现,用以消除被试可能有的光适应性对总的结果的影响。一经引起反应,立即停止刺激,如 5 秒钟内被试没有任何活动,即被认为是无反应,于是停止刺激,间歇半分钟后呈现另一色光。

结果 文昌鱼受到光刺激时有三种类型的反应:第一种是,突然出现强有力的纵贯全身的 S 形运动。这种运动很强,使文昌鱼自水槽底一跃而起,继之向水平方向游动,常常在一两秒钟之后又向下游,如果水底有细沙,它就靠着这种游泳的动作钻入沙中。在无沙可钻的情况下,它会再度向上游动,但往往不能持久,上升后身体伸直,徐徐下沉到水底,不再动作。实际上大多数个体在第一次降落到水底后,即停止运动,再度跃起者为数不多;第二种反应是,在受到光刺激后虽然也出现纵贯全身的 S 形运动,但并不跃起;第三种是,在受光后只有头和尾部的微微向上翘的反应。前两种被记作为对光的强反应,最后一种为弱反应。我们认为这些反应的类型反映着文昌鱼对不同色光所具有的不同程度的感受性。

现将 110 条文昌鱼对各色光刺激所引起的反应情况列于表 1,并如图 1 所示。从表 1 的统计数字可以看到:

(一) 对于不同色光,能作出反应的个体数目不同,反应的强弱也不同。绿色和黄色

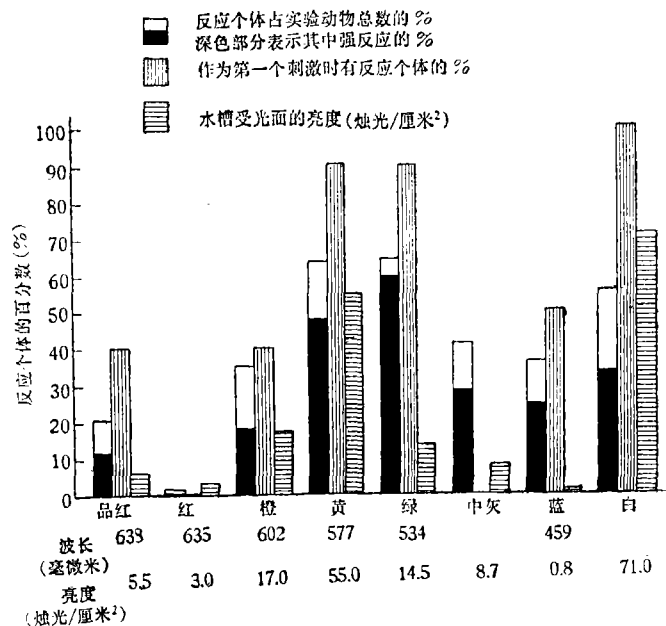


图 1 对各色光反应的个体百分数直方图

表 1 110 条文昌鱼对各色光刺激所引起的反应情况

色光	反应的个体数	反应个体占总数的%	强反应的个体数	强反应个体数占反应个体总数的百分比	色光	反应的个体数	反应个体占总数的%	强反应的个体数	强反应个体数占反应个体总数的百分比
品红	24	21	13	54	绿	72	65	66	91
红	2	1.8	1	50	中灰	46	42	34	70
橙	38	35	20	57	蓝	40	36	33	70
黄	71	64	55	78	白	61	55	39	60

光有着最多的反应个体(分别有 72、71 个个体),而且其中强反应的比率也最高(分别为 91%,78%)。

(二) 各色光的亮度的大小和它引起反应的个体数目的百分比的大小并不一致。(见图 1)对绿色光进行反应的个体最多,但它的亮度远不是最大;亮度最大的白光所能引起的反应却不是最多,亮度最小的蓝光所引起的反应也不是最少。

讨论 实验结果表明,所有色光都没能引起全部被试文昌鱼的反应。但有的光引起反应的概率高些,有的则很低。一种光在我们的实验条件下未能引起被试的反应,并不意味着该被试不能感受此种光刺激。只能假定在它当时的生理状态下,此种光暂时还不足以引起观察到的反应。考虑到这些被试的兴奋水平必然有着程度上的差别,所以假定引起反应的概率高的那些色光是文昌鱼所敏感的,因此在兴奋低的情况下也能引起反应,这是合理的。(当然,要证明这一假定还需要作精确的生理物理的测量。)本此假定,我们推断文昌鱼对绿光(534m μ)和黄光(577m μ)最敏感;对红光(635m μ)最不敏感。

鉴于本实验中各色光的亮度的大小和它们引起反应的概率的大小之间并不一致,例如,蓝色光的亮度为 0.8 烛光/厘米²,对其有反应的个体的百分数为 36%;而红色光的亮度为 3.0 烛光/厘米²,对其反应的个体的百分数只有 1.8%;黄光的亮度是 55.0 烛光/厘米²,而绿光是 14.5 烛光/厘米²,两者对文昌鱼的刺激效果却几乎是一样的;橙光的亮度为 17.0 烛光/厘米²,同绿光近似,但两者的刺激效果差别很大。还有,白光的亮度最大(71.0 烛光/厘米²),但它引起反应的概率却在绿光和黄光之下。因此,我们有理由认为波长对文昌鱼的反应是有一定影响的。实验中品红光和红光的波长很接近,分别为 638 和 635 毫微米,但品红光的刺激效果很好,这可能是光的波长不纯之故。

在实验中,尽管对每一个体我们都采取了随机呈现各色光的办法,但这种办法能否消除前一种光的照射对后一种光的刺激效果的影响,进而消除动物在实验过程中形成的光适应性对总的结果的影响?为了检查这一点,我们又对在完全没有适应性的影响下的每种色光的刺激效果作了一个简单测定。我们重新选择了 60 条活力正常的未受过试验的文昌鱼,将其分成十条一组的六组,每组个体只给予一种色光刺激,以观察各色光的单独刺激效果,测定结果如表 2。

这一结果因个体数目较少,仅供参考。但从这里也可以看到,各色光引起反应的概率在趋势上同本实验的结果是一致的,这是对本实验结果的进一步验证。但另一方面,在这一简单测定中,除红光外,各色光引起反应的概率都比正式实验要高。这说明正式实验中还不可能完全消除动物的光适应性对总的结果的影响。

表 2 不同色光对各自10个个体所引起的反应情况

组 别	色 光	有 的 反 应 数	百 分 比 (%)	组 别	色 光	有 的 反 应 数	百 分 比 (%)
I	白	10	100	IV	黄	10	100
II	红	0	0	V	绿	9	90
III	橙	5	50	VI	蓝	4	40

实验 I. 文昌鱼在不同色光照射区的反应

方法和结果 实验设备及其布置同实验 I。但每次实验中水槽的左右各半都分别同时用不同色光照射。开始时水槽内放 10 条文昌鱼,等它们分布均匀地静止在水槽底部之后,便开始呈现刺激,直到它们反应过后重新静息下来为止。然后记下左右两边的被试个数。这时让被试保持左右不动,5 分钟后,左右两边的色光对换位置,开始第二次照射,然后再记下它们在左右各半的个数。

第一部分的实验,是用刺激效果高的白光和刺激效果最低的红光作为一对刺激。共用 80 条文昌鱼,分作 8 组试验。它们对红白色光的反应结果见表 3。从表中数据可知,文昌鱼在红白光同时刺激的情况下,表现出倾向于红光照射区。

表 3 80 条文昌鱼对红白色光同时照射的反应

组 别	第一次反应后个体的分布		第二次反应后个体的分布	
	红 边	白 边	白 边	红 边
I	6	4	2	8
II	7.5*	2.5*	3	7
III	7	3	3	7
IV	6	5	2.5*	7.5*
V	7	3	4	6
VI	10	0	4	6
VII	5	5	2.5*	7.5*
VIII	10	0	2	8
总 计	57.5	23.5	23	57
总 计 %	72	28	29	71
全部被试两次分布的平均百分比	红边: 白边 71.5:28.5			

* 0.5 代表落在红白光区交界线上一边各半的个体。

表 4 各自一组 (10 条) 文昌鱼对不同配对色光的两次反应的结果

色 光 对	两次反应后个体分布的平均比例
红:蓝	6:4
红:黄	7:3
红:绿	8:2
黄:绿	5:5

第二部分实验,用红光与蓝光,红光与黄光,红光与绿光和黄光与绿光对比,每一对光只试验各自一组 10 条文昌鱼。结果见表 4。从表 4 可以看到,在红光与黄光、红光和绿光与红光和蓝光同时照射的情况下,文昌鱼都倾向于红光区,而在黄色光与绿光同时照射的情况下,文昌鱼则没有表现出倾向性。

讨论 实验的结果表明文昌鱼在红光和白

光、红光和绿光、红光和黄光、甚至红光和蓝光的并排照射下倾向于游到红光照射区域静止下来。但从文昌鱼的反应的行为模式来看,还很难断定这是一种有辨别作用的躲避行为。因为文昌鱼在光刺激后出现的反应是一种急速的游泳运动,很难看出它的方向性。在急速的游动之后,有的落在红光区,也有的落在白光区(或其它同时与红光对比的光区)。由于原来在红光区的个体并不进行反应(或因受干扰而稍有反应,但不游出色区范围),其结果是,在这一区域的个体数目就增加。这是造成反应后两边数目差别显著的原因。此外,有时,有的个体更活跃,当游入红光区之后,又折回到白光区,并落在那里。这些文昌鱼在红光与白光(或其它光)的交界处并不见有迟疑或折回的行为(涡虫、草履虫,甚至变形虫在明暗交界处都会表现出这类行为)。因此,我们认为在本实验的条件下,文昌鱼对于不同波长或强度的光没有积极的辨别行为。鉴于这种情况,我们把文昌鱼对光刺激的这种无定向的反应叫作光动(photo-kinetic)反应,以区别于有定向的被称为趋向性的反应。

结束语 这一探索性实验的结果*表明:(一)文昌鱼对各种单色光表现出不同的敏感性,对黄、绿光敏感,对红光特别不敏感。结果还表明各色光的刺激效果(引起反应的几率)和它们的亮度并不一致。例如,红光比蓝光的亮度强3倍,但它引起反应的几率仅抵蓝光的1/20;又如,橙光和绿光在亮度方面是比较接近的,但对橙光的反应率只为绿光的3/10。(二)在本实验的条件下,文昌鱼对两种波长和亮度不同的光区似无积极的选择行为,虽然在两色光照射的光区,反应后的个体分布是有倾向的,但这种不均匀的分布主要是由于在刺激效果很弱的光区中的文昌鱼不大活动的结果。鉴于文昌鱼对亮度和波长不同的光区无定向运动,我们把文昌鱼对光的反应叫作光动反应,以区别于趋向性的反应。

参 考 文 献

- [1] Retzius, G., 1891; Kolde, E., 1890; Meymans, J. P. & O. van der stricht, 1898
- [2] Done, G.: The Central Nervous System in Amphioxus, *J. comp. Neurol.*, 115, 27—64, 1960
- [3] Welsch, U.: Die Feinstruktur der Josphschen Zellen im Gehirn von Amphioxus, *Z. Zellforsch.*, 86, 252—261, 1968
- [4] Young, J. Z.: *The Life of Vertebrate*, Clarendon press, Oxford, 1955
- [5] Kühlenbek, H.: *The Central Nervous System of Vertebrates*, Vol. 4, S. Karger, 58—76, 1975

* 在本实验期间,曾试着在几条文昌鱼中用电刺激与红、蓝、橙光分别结合,以强化它们对这些光的反应。有的结合达258次未见成效。我们考虑到有些实验条件尚需作精确控制,故暂时放弃了继续试验。

THE PHOTO-KINETIC REACTION OF AMPHIOXUS (BRANCHIOSTOMA BELCHARI)

Shao Jiao

(Department of Psychology, Beijing University)

Lin Guo-bin, Chen Shao-fu

(Institute of Psychology, Academia Sinica)

Abstract

The presence of photoreceptor cells in the spinal cord of amphioxus has always been known by the neuroanatomists, but the information about the reaction to photo-stimulus of the animal is rare. Last summer we carried out an experiment in Qingdao in the purpose of examining the sensitivity of the amphioxus (*Branchiostoma belchari*) to monochrome lights of different wavelengths. Over two hundreds of *B. belcharis* were tested individually by projecting monochrome light directly on them when they were resting at the bottom of a small plexiglass aquarium.

The results showed that *B. belcharis* seem to be highly sensitive to the middle band (534—577m μ) of the visible spectrum, i. e., green and yellow, less sensitive to blue and orange (459m μ , 602m μ), and almost insensitive to red (635m μ).

At the end of the experiment we made an observation on the color light preference of the amphioxus. In each trial 10 *belcharis* were put in the aquarium, which was then illuminated with red light on one side and with another light, such as white, blue, green or yellow on the other side. The uneven distribution of the animals in the two halves of the aquarium was simply due to the fact that when the lights were on, the animals in the more-effective area moved vigorously and came into the range of the less-effective area incidentally while the animals in the less-effective area remained motionless, so the numbers of the animals in this area increased.

Here we use the term photo-kinetic reaction so that it is distinguished from any other kind of taxis.