

是很稳定的。由此看来,在空白区出现的条纹是选通滤波引起的“噪声”。一旦消除了噪声之后,就能够形成立体感。

二、结 论

1. 立体图对空间频谱中那些能量大的频率分量的组合不能产生深度知觉,即使是全部高峰值的组合也是如此(图 3(4))。因此,虽然每个频率分量都携带着双眼视差信息,但是一些频率分量的任意组合不能引起立体感。从这个意义上讲,对于深度知觉,各个频率分量能量的大小并不起决定的作用,看来它应该联系某个频段才能确定其作用的大小。

2. 对选通滤波所产生的立体图对,只要把空白区的“噪声”除去,就照样可以产生深度知觉。图 3 和图 5 的差别仅仅在于:一个空白区有条纹,另一个则没有。空白区无条纹能引起立体感,有条纹则不能引起立体感。因此,深度知觉的产生不仅需要双眼视差信息,而且还与图形的整体情况有关。选通滤波改变了原来的图形。

3. Gestalt 心理学派认为,物体看上去是什

么样子,这取决于物体左右前后的情况。Gogel^[6]把这叫作视觉知觉的毗邻原理,即视觉系统对相对线索有加权作用,加权作用的大小与三维空间中试验物体与诱导物体之间的视在距离成反比。在我们这个实验中,空白区条纹削弱了倾斜直线的深度感,它有把一端向下倾斜的直线提起来拉平的作用(图 4);在一定的条件下,它会使深度感完全消失掉。选通滤波所产生的“噪声”可以看作是在原来的图形中引入的诱导物体。

本工作承纺织设计院费中同志帮助在计算机上作图,我所王克义同志拍摄照片,一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Julesz, B.: *Science* (N. Y.), **145**, 356, 1964.
- [2] Campbell, F. W. et al.: *J. physiol.* (Lond.), **197**, 551, 1968.
- [3] Campbell, F. W.: *Neuroscience Third study program*, MIT. press, 95, 1974.
- [4] 郑竺英等:《心理学报》,1980 年,第 2 期,第 195 页。
- [5] 姚国正:《生物化学与生物物理学报》,1981 年,第 3 期,第 229 页。
- [6] Gogel, W. C.: *Scientific Amer.*, 238(5), 126, 1978.

[本文于 1980 年 10 月 31 日收到]

黄蜻(*Pantala Flavescens Fabricius*) 复眼光感受器的显微结构及其某些光学特性

吴卫国 石树真 徐智敏

(中国科学院生物物理研究所)

节肢动物的复眼,在解剖学、生理学和光学等方面,与其他无脊椎动物、脊椎动物和人的眼睛有很大差异。因此,对于复眼的研究早就引起了人们的注意,对于比较高等的节肢动物——昆虫复眼的研究更是如此。近十多年来,Horridge^[1]、Eguchi^[2]和 Laughlin^[3]对蜻蜓复眼的结构及网膜细胞的光谱灵敏度曾进行了研究,但目前对其光学特性的研究甚少。我们以黄蜻(*Pantala flavescens fabricius*)复眼为材料,

研究了光感受器的显微结构及其某些光学特性,并对复眼背区与腹区的结构进行了比较。

一、材料和方法

1. 将捕捉的黄蜻头部放在 10% 福尔马林溶液中固定、保存;石蜡和火棉胶切片,用苏木精—伊红(H·E)染色;在光学显微镜下观察其结构。

2. 剥制出固定后的黄蜻复眼角膜晶体,用

半导体冰冻切片机制作 10 微米纵切片,观察其结构。

3.用上述剥制出的角膜晶体,以人像作目标,显微镜下观察其成像效果;用四面体 ABCD 作目标,显微镜下观察成像视差;用黑白间隔相等的条纹(间隔 $\Delta = 0.383$ 毫米)作目标,测量角膜晶体能够分辨出条纹间隔的最小距离的张角。

4.将黄蜻复眼冰冻,或经过火棉胶包埋,在复眼深部做距角膜表面 150—200 微米厚的横切片,显微镜下观察其成像特点。

二、结 果

1.复眼的形态

黄蜻复眼呈椭圆形,长轴约 7 毫米,短轴约 4 毫米。根据复眼小眼面的色素、尺寸和排列可以划分为三个区域^[3]。背区: 呈暗红色,有橙色的屏蔽色素;小眼面较大,呈六边形。腹区: 呈蓝色,有密集的黑色屏蔽色素;小眼面比较小,也呈六边形。第三个区域是复眼的内侧区,呈黄色,含有以上橙、黑色两种屏蔽色素;其小眼面尺寸不等,呈长方形。

2.小眼的结构

小眼最外面的部分是角膜晶体,呈六边形。位于复眼背区的角膜晶体直径为 60—80 微米,腹区的角膜晶体直径为 35—50 微米(图 1 见图版 I)。

各区的小眼长度不等,背区边缘的为 900 微米,背区中央的为 1200 微米。每个小眼是由屈光器、感受器细胞和色素细胞组成(图 2 见图版 I)。

(1) 屈光器 包括一个角膜晶体和一个晶锥。角膜晶体呈圆筒形,是由在角膜下面的两个森氏细胞分泌而成。光线经过它聚焦后通过晶锥到达感受器细胞的感杆束远端。晶锥是由四个晶锥细胞组成,因此,晶锥横截面可分为四个部分(图 3 见图版 I)。

(2) 感受器细胞 从晶锥近端到基底膜之间有非常细长的网膜细胞排列。网膜细胞的轴突穿过基底膜到达薄板。每个小眼有八个小网膜细胞形成融合型感杆束。背区与腹区小网膜细胞结构上相似。在网膜远端,气管柱占据了大部分网膜的体积,而在近端,由于小眼辐射排列的结果,这些气管柱的体积就减小了。在网膜的横截面上形成一个规则的图形。背区的小网膜细胞由九个大气管柱包围,感杆束近似三角形,而腹区小网膜细胞由六个大的气管柱包,感杆束近似圆形(图 4 见图版 II)。

(3) 色素细胞 在晶体周围有一对主色素细胞,其色素在晶锥近端加厚形成晶锥的孔径。晶锥之间有附色素细胞,阻止光线在晶锥之间通过(图 2B 见图版 I)。

3.小眼的成像特点

小眼的角膜晶体是由双凸透镜和凹凸透镜组合而成的复合透镜组,厚约 40 微米。目标在每个角膜晶体之后形成一个小倒像(图 5A 见图版 II)。晶锥是液态的均匀介质,周围有色素屏蔽。小网膜细胞的融合型感杆束起光导作用^[4],目标在感杆束横截面上呈现一个光点像。

4.小眼角膜晶成像视差及其分辨率

(1) 角膜晶体成像视差

用四面体 ABCD 作目标,在复眼各个角

表 1 背区小眼角膜晶体成像分辨率

测量项目 \ 实验次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
D	68	68	68	68	76	60	78	60	80	68	69.4
L	91.7	78.5	77.5	86.5	94.5	81.4	79.1	83.1	91.9	91.3	85.6
α	16	16	18	16	14	16	16	16	14	14	16'

表 2 腹区小眼角膜晶体成像分辨率

测量项目 \ 实验次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
D	34	42.5	42	42	47	50	42.5	42.5	47	38	42.8
L	57.4	58.5	67.8	64.1	55.5	63.1	56.9	61.7	65.3	46.5	59.7
α	22	22	20	20	24	20	24	22	20	28	22'

〈注〉: D = 黄蜻复眼小眼面直径(微米)

膜晶体之后可形成四面体的像,四面体顶点 D 向其他 A 、 B 、 C 三个点的投影距离是不等的,表明有视差。这种视差的变化有一定规律性:任意两个角膜晶体(X 、 Y 、 Z 轴上)成像之间的视差随着它们间隔角膜晶体数目的增多而变大(图5B)。

(2) 角膜晶体成像分辨率

根据公式: $\alpha = 2\arctg \frac{\Delta}{2L}$

其中: α = 分辨角(分)

Δ = 条纹间隔(0.383 毫米)

L = 角膜晶体分辨出条纹间隔时的最小距离(毫米)。

三、讨 论

1. 小眼的气管及其功能

黄蜻复眼小网膜细胞周围有发达的气管组织,充满了小眼的间隙。Horridge^[1]认为气管组织在功能上可能有重要的意义。在光学上,气管组织可能把每个小眼变为光导管,使经过晶锥尖端孔径的光线沿着光导管向下传播。但是,一般复眼网膜的感杆束折射率比周围组织的折射率高,因此,感杆束也起着光导作用。当然,黄蜻复眼的气管组织是否确为小眼形成光导管,还有待直接证明。另外,发达的气管组织可能为感受器内线粒体提供了需要的氧气,同时也减轻了复眼的重量,这对黄蜻高速飞行均具有一定的功能意义。

2. 复眼背区与腹区的功能差异

黄蜻复眼背区与腹区的小眼不仅形态上有

差别,而且在功能上也有差别。Eguchi^[2]测量了蜻蜓复眼小网膜细胞的光谱灵敏度,背区小眼的小网膜细胞对紫外光和蓝光比较敏感,腹区小眼的小网膜细胞对绿光比较敏感。这种功能与蜻蜓的生活环境相适应。黄蜻在生活状态下,背区朝向天空,而腹区朝向地面;同时,背区小眼有较大的小眼面,克服了小眼角膜透镜产生的衍射效应,改善了网膜图像的清晰度,比较容易地检测出运动着的小目标,以利于在飞行中捕捉食物。

3. 复眼网膜像的形成

黄蜻复眼小眼之间不仅有发达的气管组织,而且有色素屏蔽,这使每个小眼在光学上与其它周围的小眼分开。另外,每个小眼有起光导作用的融合型感杆束,因此,每个小眼自成一个视觉功能单位。每个小眼的小网膜反映出外界目标的一个点,整个复眼的网膜将各个小眼所反映的一个点的象镶嵌成整个目标的一个像。至于各个小眼角膜晶体形成的像存在视差有何作用,是否可利用这种视差记录位相信息,进行拟全息加工,还有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Horridge, G. A.: *Z. Vergl. Physiol.*, 62, 1—37, 1969.
- [2] Eguchi, E.: *Z. Vergl. Physiol.*, 71, 201—218, 1971.
- [3] Laughlin, S. B. et al.: *Cell Tiss. Res.*, 188, 427, 1978.
- [4] Menzel, R. et al.: *Cytobiologie*, 11, 279, 1975.

[本文于1980年12月8日收到]

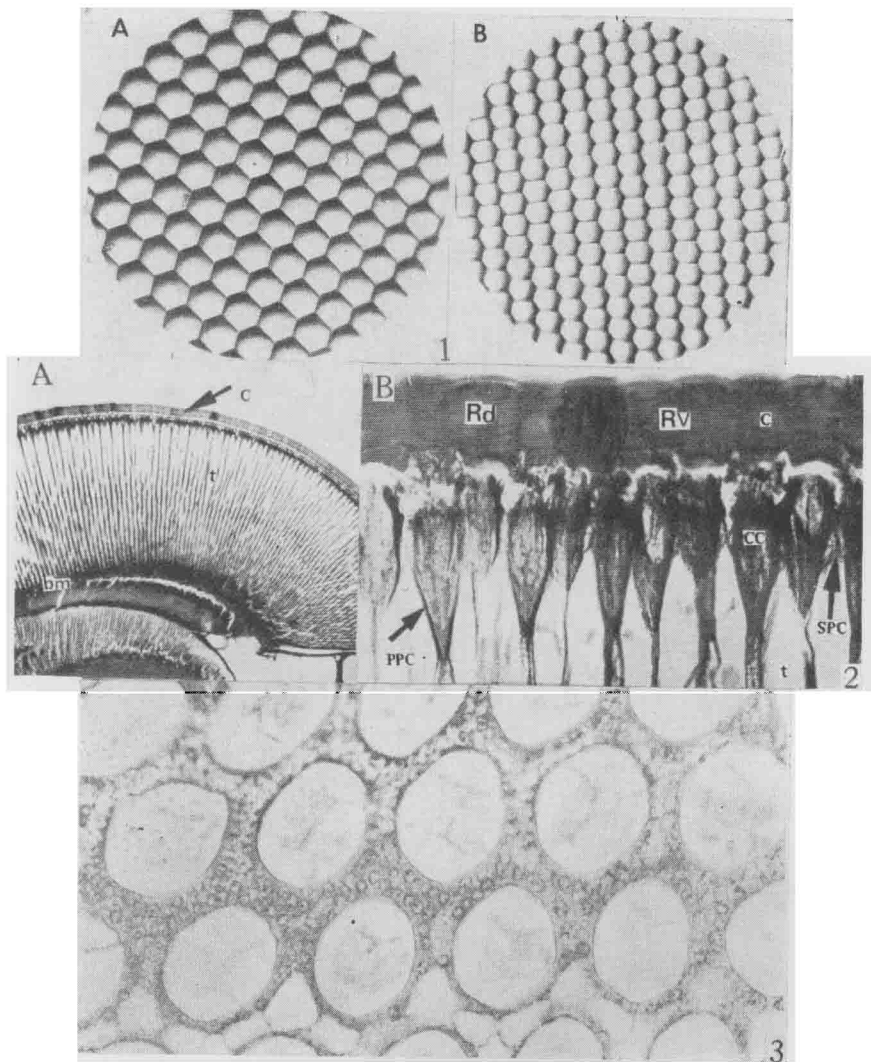


图 1 黄蜻复眼部分小眼面正面观($\times 80$)

A——背区 B——腹区

图 2 黄蜻复眼部分小眼的纵切面

A($\times 24$)

B($\times 240$)

Rd——背区 Rv——腹区 c——角膜晶体
cc——晶锥 t——气管 bm——基底膜
ppc——主色素细胞(箭头所示) spc——附色素细胞(箭头所示)

图 3 黄蜻复眼部分小眼晶锥的横切面($\times 40$)

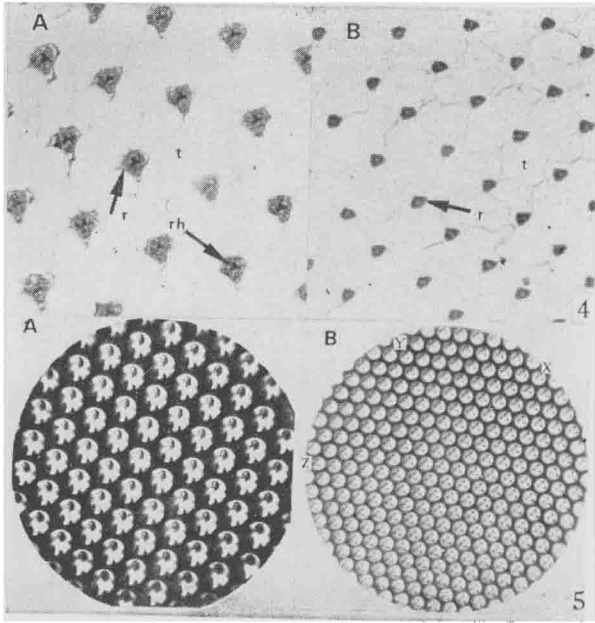
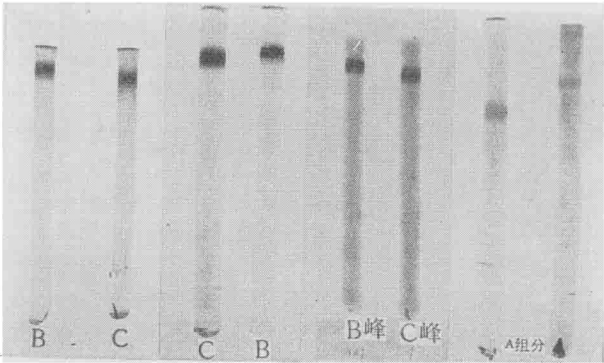


图 4 黄蜻复眼部分小眼角膜的横切面($\times 360$)

A——背区 B——腹区 r——小网膜细胞 t——气管 rh——感杆束

图 5 A——黄蜻复眼部分小眼角膜晶体形成的小倒像($\times 100$)

B——黄蜻复眼部分小眼角膜晶体成像的视差 $\times 50$ (X、Y、Z 表示复眼小眼面排列的三个轴)



考孟氏兰 R_{250} 酶活性染色 糖蛋白染色 schiff 考孟氏试剂 考孟氏兰染色 考孟氏兰染色

图 3 同工酶 A、B、C 聚丙烯酰胺凝胶电泳的各种染色图谱