

人对红绿光栅的颜色视觉对比感受性¹⁾

林国彬*

中国科学院心理研究所, 北京

摘 要

实验使用电子计算机控制彩色图象显示器的屏幕来呈现视觉目标彩色光栅, 以对人的颜色视觉进行对比感受性的测定。被试可以通过终端键盘改变光栅的各种变量并进行反应, 计算机对结果进行记录和处理。实验 I 是对比感受性作为红-绿光栅和绿色单色光栅的空间频率的函数的测定。结果表明, 在所有空间频率上, 被试对绿色光栅的对比感受性都比对红-绿光栅要高。但随着空间频率的升高, 对两种光栅的对比感受性也相应升高, 并都在中间空间频率带达到高值。实验 II 是对颜色视觉对比感受性作为红-绿亮度比率的函数的测定。结果表明, 空间频率和红色在光栅中的比率对对比感受性都有重要的影响。本实验结果具有明显的实际应用价值。

问 题

对比感受性函数可以提供一个表示对模式信息的觉察能力的较好指标, 它表示刚刚觉察到正弦光栅所需要的对比度与光栅空间频率的关系。我们可以用度量它的方法来检验亮度视觉的空间特性, 也就是视觉系统在不同空间频率下觉察亮度对比的能力。这一点已有前人的工作证实^[1-3]。但在人们的现实生活中, 我们视觉所感受到的外界刺激总是五颜六色、色彩缤纷的, 视觉所面临的单色刺激或无色客体总是为数极少。因此, 测定对彩色正弦光栅的颜色视觉对比感受性更赋有实际意义。因为我们知道, 任何现实生活中的对象的复杂模式都可以通过组合各种空间频率、对比度、相位和方向的正弦光栅而精确地复制出来^[1]。但迄今为止, 测定视觉对彩色光栅的对比感受性的研究还是凤毛麟角。只有 Mullen, K. T. (1985)^[4]报告过两名被试者对红-绿和蓝-黄正弦光栅的对比感受性。这个实验的严重缺陷是实验设备的问题: 彩色光栅由一个直径只有 9.2 厘米的白磷圆盘产生, 被试只能利用一只 3 倍的望远镜才能使视角扩大到最大 23.5 度。这种过小的视觉目标势必会给实验结果带来一定影响。本实验试图用计算机控制大屏幕来呈现视觉目标彩色光栅, 以对人的颜色视觉进行对比感受性的度量。

方 法

刺激光栅呈现在一台 31 英寸的 ONE/80 彩色图象显示器屏幕上, 该显示器直接由一台 PDP11/73 电子计算机控制。被试面对刺激屏幕, 并操纵一个终端键盘, 按事先编制的

1) 本文于 1988 年 6 月 25 日收到。

• 本实验是在美国柏克莱加利福尼亚大学教授 M. S. Banks 指导下, 并在他的婴儿视觉发展实验室完成的。在技术上曾得到该实验室的 Andy Eisman 和 Dale 博士的大力协助, 在此一并致谢。

程序来控制刺激变量和作出判断反应。被试通过一个光束集合器来注视光栅刺激屏幕。光束集合器是半透明的,它把刺激屏幕的光和由一台幻灯机通过一个可调光通量的滤光片照射到另一屏幕S上的绿色光或橙色光集合在一起(见图1)。这样一来,可以使被试在长时间的实验中易于适应光栅刺激;也可以使被试实际感受到的光栅刺激的平均亮度在不同实验条件下始终保持在10烛光/米²。

实验 I 是关于对对比感受性作为红绿光栅和绿色单色光栅的空间频率的函数的测定。在该实验中,我们选择的频率有由0.112周/度到14.4周/度共8种。红绿光栅中两种颜色的亮度总是相等,这时红绿栅条相间地垂直呈现在屏幕上。实验中使用的光栅刺激都是正弦光栅。对每一种频率,在保持光栅的调幅不变的情况下,都改变光栅的对比来测定被试的对比度阈限。在测定时,对对比度的选择是采取简单的阶梯式程序,就是随机地选择高于或低于阈限的一种对比来开始。光栅的呈现不是持续的,而是采取速示的方法。每次呈现光栅时终端会发出两个先后断续的响声,伴随其中一个响声的是光栅在屏幕上呈现1秒钟,发另一个响声时屏幕上只有与光栅调幅完全一致的橙色或绿色。被试根据两个响声作出觉察到光栅的二择一的判断反应。如果光栅的对比度是在阈限以下,屏幕上的两次刺激在被试看来是完全一样的。每一空间频率都选择6—8种对比进行测定。每种对比的测定都要求进行20次判断反应,能达到75%正确反应的对比度就被确定为该空间频率的对比度阈限,而每个阈限都由4次测定的平均数得出。然后我们根据这个阈限由计算机得出对比感受性。

实验 II 是关于颜色视觉的对比感受性作为红绿亮度比率的函数的测定。在该实验中,我们试图测定在空间频率不变的条件下,改变红绿光栅中红色和绿色亮度的比率时所引起的对比感受性的变化。在这里,红绿亮度的比率的变化表示为红色光亮度在红绿光栅中百分比的变化。就是说,在光栅中红色百分比最大和最小时则表现为红色或绿色的单色光栅,这时只有亮度对比而没有颜色对比。在百分比为50%时,则只有最大的颜色对比和最小的亮度对比。因此在刺激光栅中没有纯净的亮度变化。

在实验 II 中,我们选用了四种空间频率(即0.45,1.8,7.2,和14.4周/度)和6—11种红-绿亮度的比率。对每一空间频率的每一种红-绿亮度的比率,都选择6—8种对比进行测定,以确定对比度阈限。具体实验程序同实验 I。

两个实验结果都由计算机自动记录并进行处理。整个实验在暗室中进行,被试使用单眼视觉。共用成人被试三人,因故只有其中一人数据完整,将其报告于下。

结果和讨论

实验 I 的结果如图 2 所示。从图中可以看到,空间频率对对比感受性有着深刻的影

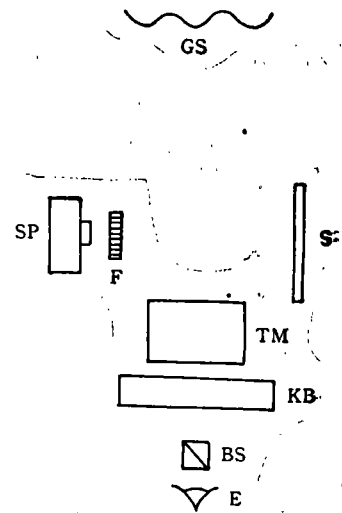


图1 实验装置示意图
GS 图象显示器屏幕,SP 幻灯机,F 可调滤光片,S 屏幕;TM 终端监视器,KB 终端键盘,BS 光束集合器,E 被试眼睛

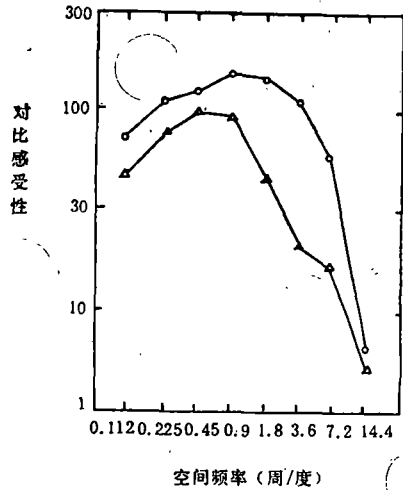
响。在所有的空间频率上,被试对绿色单色光栅的对比感受性都比对红绿光栅要高。但两条对比感受性曲线非常相似;随着空间频率的升高,对比感受性也升高,但对绿色光栅的对比感受性在空间频率 0.45—3.6周/度达到高峰值以后和对红绿光栅的对比感受性在空间频率 0.225—0.9周/度以后都迅速下降,并都在空间频率 14.4周/度时降到最低。两种光栅虽然都在中等空间频率时其对比感受性达到高峰值,但二者高峰值所在的空间频率带也有所不同。从图 2 看,对绿色光栅的对比感受性高峰值所在的空间频率带要高些也宽些。本实验结果具有低通特征,但也有明显低频衰减现象。

本实验结果同 Mullen, K. T. (1985)^[4] 由一个被试身上得到的结果十分相似。但在她的实验中,在空间频率低于 0.3周/度的范围内,对绿色光栅的对比感受性比本实验的要低,而对红绿光栅的对比感受性比本实验的要高,并不存在低频衰减现象。因此在她的结果中,两条曲线在空间频率 0.3周/度处相交。对于低空间频率范围内

对比感受性的这种差别,使我们不得不联想到实验装备的差别。在她的实验中,刺激目标只是一个直径为 9.2 厘米的圆盘,这样小的圆盘对于中高空间频率的光栅尚还可以,对于

0.3周/度以下的低空间频率光栅来说,实际上呈现不了几条栅条。在这种情况下测得的对比感受性很难相信是可靠的,因此我更倾向于相信本实验结果是符合客观实际的。

实验 II 的结果如图 3 所示。从图中我们可以看到,空间频率和红色在光栅中的比率对对比感受性都有重要影响。在所选择的四种空间频率中,频率越低则对比感受性越高。当空间频率增高到 14.4周/度时,对比感受性骤然降至最低;在空间频率为 0.45, 1.8 和 7.2周/度时,对比感受性在红色占光栅刺激的 50%左右时为最低,随着红色比率的降低或升高时,对比感受性也逐渐升高。这种现象说明,在一定的空间频率条件下(如图 3 上面三条曲线),在亮度对比越大(这时颜色对比越小)时,对比感受性也就越高;当只有颜色对比而没有亮度差别时,对比感受性也就降到最低。这个结果同 Mullen, K. T.



○—绿色单色光栅(亮度10烛光/米²)
 △—红-绿光栅(调幅=10.2)
 图2 对比感受性作为红-绿光栅和绿色单色光栅的空间频率的函数

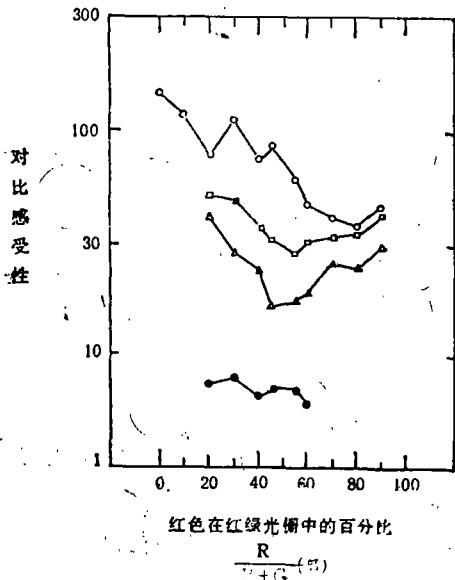


图3 颜色视觉的对比感受性作为红-绿亮度比率的函数
 (空间频率: ○—0.45周/度; □—1.8周/度; △—7.2周/度; •—14.4周/度)

(1985)^[4]实验中高空间频率部分的结果是相吻合的,但在她的实验中使用的低空间频率(0.09和0.24周/度)部分的结果则完全颠倒过来,就是颜色对比对对比感受性起着重要作用,亮度对比越大,对比感受性也越低,曲线也成为中间高,两头低。在我们实验中没有使用如此之低的空间频率,遗憾不能与之比较。但我们也使用了0.45周/度,结果中决没有出现类似的倾向。对于 Mullen 实验中低空间频率部分的结果,我认为是可以怀疑的,理由已在上面谈到。当然本实验还并不十分完全,如果能扩大空间频率范围和红绿比率范围,或许还会有新的发现。

本实验实际上已经涉及到另一个更为复杂的问题,即对比度阈限上的颜色对比和亮度对比的关系问题。Horst, G. J. C. 等人(1967)^[5]对这个问题有过专门的研究。他们用等亮度的方法研究一定空间频率下的颜色差别阈限。用颜色对比感受性函数同亮度对比感受性函数相比较的方法来探查颜色对比同空间频率的关系,证明在亮度对比条件下存在着低频衰减现象,在颜色对比条件下则没有。在另一个研究中(Horst G. J. C. 等1969)^[6]他们还证明阈限的颜色对比同亮度的方根成一定比例。这些都是专门的研究课题,本文不作进一步讨论。

本实验所研究的光栅空间频率以及红绿亮度比率与对比感受性的关系对于人的颜色视觉来说是一个很重要的问题。它不仅在阐述颜色视觉的特性等理论方面是一个重要课题,而且在工农业生产和国防建设实践方面也具有重要的实际应用意义。

参 考 文 献

- [1] Banks, M. S. and Salapatek, P. Infant pattern vision: A new approach based on the contrast sensitivity function. *Journal of experimental child psychology* 1981, 31, 1—45.
- [2] Banks, M. S. and Salapatek, P. Infant vision perception. In P. Mussen (ed.) *Handbook of child psychology*, John Wiley and Sons, 1983, Vol. 2, pp. 435—572.
- [3] Cornsweet, T. N. *Visual perception*, New York, Academic press 1970.
- [4] Mullen, K. T. Contrast sensitivity of human colour vision to red-green and blue-yellow chromatic gratings. *Journal of psychology*, 1985, 359, pp. 381—400.
- [5] Horst, G. J. C. et al., Transfer of spatial chromaticity-contrast at threshold in the human eye. *Journal of Optical Society of America*, 1967, Vol. 57, 10.
- [6] Horst, G. J. C. et al., Spatiotemporal chromaticity discrimination. *Journal of the Optical Society of America*, 1969, Vol. 59, 11.

HUMAN SENSITIVITY TO THE CONTRAST OF RED-GREEN SINUSOIDAL CHROMATIC

Lin Guo-bin

Institute of Psychology, Academia Sinica

Abstract

A PDP11/73 computer and a ONE/80 color graphic display were used to produce green and red-green sinusoidal chromatic gratings. The subjects could manipulate the grating variables and their own responses, by using the keyboard of the computer. In Experiment One, contrast sensitivities to green and red-green gratings were measured as a function of spatial frequency. Both green and red-green contrast sensitivity function had similar low-pass characteristics with low-frequency attenuation. In Experiment Two, contrast sensitivities to red-green gratings were measured as a function of both the red-green luminance ratio in the grating and the spatial frequencies. The results show that, as the spatial frequency was reduced, the contrast sensitivity increased, and under the same-spatial-frequency condition, the sensitivity was the greatest when the stimulus had only luminance contrast, the lowest when there were color differences in the stimulus.