

# 不同色光照明后相同白光色貌 的色位移—相继颜色对比<sup>1)</sup>\*

许宗惠 林仲贤 潘广铖

中国科学院心理研究所, 北京 北京工业学院

## 摘 要

本实验采用双眼匹配法,测试了人眼经受不同色光照明后颜色视觉的变化。测量了它们的色位移并表示在国际照明学会(CIE)1931年色度图上。

实验发现,与适应色类同的色光会引起相同的白光色貌。此外还表明,对色光适应的人眼会把白光看成该适应色的补色。

这些结果为我们进一步理解视觉过程提供线索。

## 一、前 言

对视场中一块颜色的感觉,由于受到相邻区域的其它颜色或先前所看颜色的影响而发生变化的现象称为颜色对比。前者为同时颜色对比;后者为相继颜色对比。早在二百多年前, J. W. Goethe 在“生理学上的颜色”的论述中,描述了颜色对比现象。M. E. Chevreul(1849)在理论上最早把“对比”这个词用于研究这类主观效应,并用实验加以验证。此后, H. Von. Helmholtz(1866)、F. W. Fröhlich<sup>[1]</sup>(1921、1922)、W. D. Wright<sup>[2]</sup>(1934)、R. M. Evans<sup>[3]</sup>(1948)、G. A. Fry<sup>[4]</sup>(1955)、D. L. MacAdam<sup>[5]</sup>(1956)以及 G. S. Brindley<sup>[6]</sup>(1962)等都曾对相继颜色对比现象进行过研究。

同一种颜色在不同条件下会出现不同的色貌,那么不同的颜色在人眼经受不同色光照明后,能否引起相同的色貌呢?此外,有关颜色对比的研究大部分是描述性的,尤其是早期的研究缺乏用色度测量方法说明色貌的变化。本实验旨在把这类色貌变化定量地标定在国际照明学会(CIE)1931年色度图上,以期为进一步探讨颜色视觉的机制提供线索。

## 二、实验方法和仪器装置

### 1. 方法

本实验采用双眼匹配法或重像法(haplosopic)进行色度匹配。这种方法可以使被试

1) 本文于1987年5月23日收到。

• 本研究得到中国科学院科学基金资助。房路江、贺极苍、王东晖三同志参加了部分工作。

者的左右眼分别处于不同的适应状态下,判断合成圆视场两半的颜色感觉是否相等。左右两半视场的光斑都由三基色色光混合而成。但其中一半视场的色度保持不变,即参照野;另一半视场的色度可以根据需要任意变化以产生各种色光,即测试野。

### 2. 仪器

我们使用了一台可变背景光匹配仪进行实验。该仪器主要参考了伊斯曼柯达公司彩色摄影部 E. J. Breneman 报道的仪器<sup>[7]</sup>设计制造的。图 1 表示了仪器的光路原理。

光源  $S_1, S_2$  和  $S_3$  各自通过滤光片 R、G、B 射入积分球内,混合成弥散色光。R、G、B 三种色光的比例可由可变光栏  $D_1, D_2$  和  $D_3$  调节。弥散色光通过出射光孔 W 和直角棱镜  $P_1$ , 照亮了半圆形光栏 D。物镜  $L_1$  将 D 成像在组合棱镜  $P_2$  的中心平面上。 $P_2$  的大棱镜斜面上镀有铝膜。但其中中央部份留有一个不镀铝的椭圆形小孔。被试者通过目镜  $L_2$  看到一个半圆形的像(光斑)。这就构成了右眼的测试野。而左面的对称光路则组成了相邻的参照野。

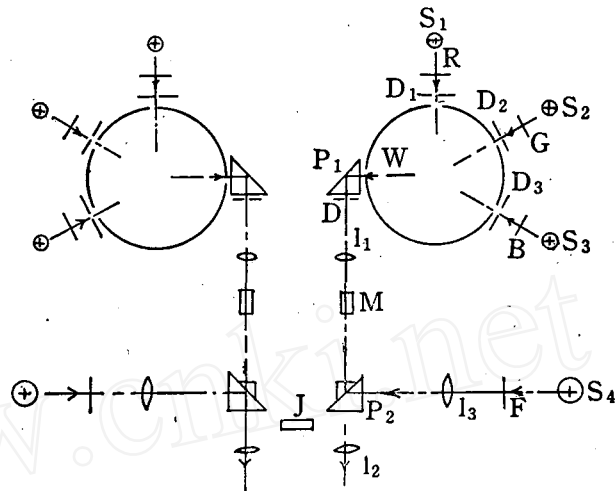


图 1 仪器光路示意图

适应光的光源  $S_4$  经由滤光片 F 和物镜  $L_3$  也照亮了  $P_2$  的斜面。由于铝膜的反射作用,适应光也经过目镜  $L_2$  进入人眼。

J 是目间距调节板。它能调节左右两眼的半圆形的参照野和测试野,组合成一个清晰完整的圆视场。M 为减光器。

表 1 参照白光和色光的色度坐标

| 类别   | 色 度 坐 标 |       |       |
|------|---------|-------|-------|
|      | x       | y     |       |
| 参照白光 | 0.373   | 0.415 |       |
| 基色光  | 红       | 0.721 | 0.279 |
|      | 绿       | 0.318 | 0.646 |
|      | 蓝       | 0.148 | 0.035 |
| 适应光  | 红       | 0.681 | 0.310 |
|      | 绿       | 0.313 | 0.649 |
|      | 蓝       | 0.162 | 0.038 |
|      | 黄       | 0.559 | 0.430 |

### 3. 条件

右积分球的三基色红、绿、蓝和左积分球的参照白光以及适应光红、绿、蓝、黄的色度坐标见表 1。在实验期间左眼的参照白光光斑始终呈现在黑背景上,即左眼不受色光刺激。右眼一直呈现测试野的混合光,只是每隔 2 秒钟,出现 10 秒钟的适应光(即用色光照明)。适应光的亮度为  $2\text{cd}/\text{m}^2$ 。参照光斑的亮度为  $23\text{cd}/\text{m}^2$ 。参照野和测试野组成  $2^\circ$  圆视场。适应视野为大视场(大于  $10^\circ$ )。

### 4. 被试者

实验被试者为两名大学生(男、女各一名), 年龄分别为 19 岁和 20 岁。视力均在 1.2 以上, 具有正常的颜色视觉。经过一星期的训练, 他们已能熟练地改变红、绿、蓝光的比例, 进行颜色匹配。

### 5. 实验程序

实验分为两步。首先, 要求暗适应的被试者在黑背景下进行双眼目视匹配, 即以左边的白光为标准, 通过按钮调节右边的 R、G、B 基色比例, 以达到两边的白光相匹配。此时测定的数据为色光适应前白光的色度。

第二步, 要求被试者注视右面视场里的适应光。这种色光每隔 2 秒钟呈现一次, 呈现时间为 10 秒钟。当适应光消失时, 被试者双眼立即注视合成视场的分界线的中点, 并开始调节右边测试野的三基色的比例(在适应期间可继续调节), 以便在双眼出现黑背景的短暂期间, 合成视场的两半白光达到匹配为止。此时测定的数据为色光适应后, 出现相同色貌的白光色度。要完成这类双眼匹配, 需要经过几次甚至十几次的色光适应。

对每一适应光适应前后的色度匹配各做 4 次。每做完一次就用一台日制  $B_M-2$  型彩色亮度计测定测试野的三刺激值, 经校正后再计算出色度坐标。每天只做一种色光照明下的匹配实验, 约 90 分钟。

## 三、实验结果与讨论

本实验采用  $B_M-2$  型彩色亮度计测量及计算出不同色光照明前后, 被试者看到相同色貌的白光色度坐标。两个被试者的实验结果分别见图 2-5 和图 6-9。“.”表示色光照明前的色度坐标; “+”表示色光照明后的色度坐标。实验数据列于表 2-5。

经不同色光照明后, 被试者发现, 原来在黑背景上左右匹配的白光色貌发生了变化: 经红光照明后的右眼, 把右边测试野的白光看成蓝绿光, 绿光照明后, 看成品红光; 蓝光照明后, 看成黄光, 而黄光照明后, 看成蓝光。以上表明, 继时对比引起的颜色感觉和适应色的补色相接近。

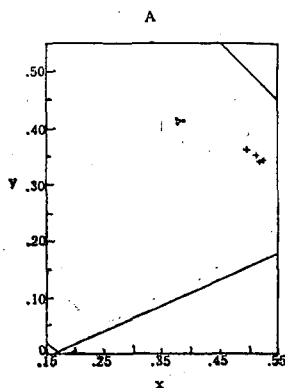


图 2 红光照明前后色貌相同的白光色度

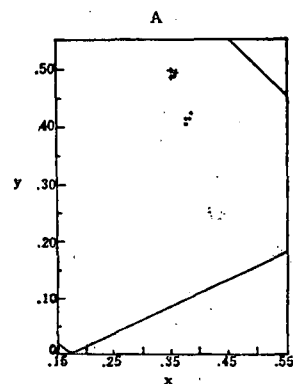


图 8 绿光照明前后色貌相同的白光色度

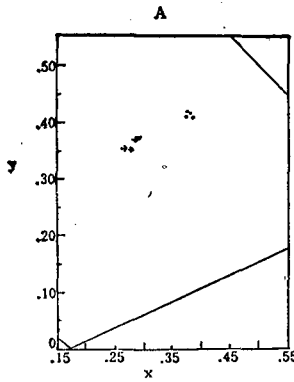


图 4 蓝光照明前后色貌相同的白光色度

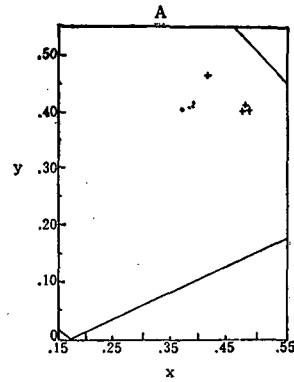


图 5 黄光照明前后色貌相同的白光色度

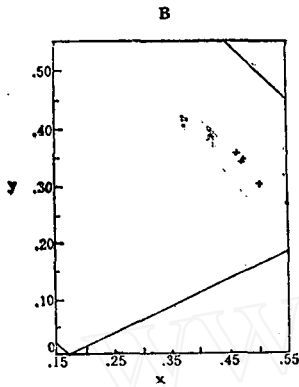


图 6 红光照明前后色貌相同的白光色度

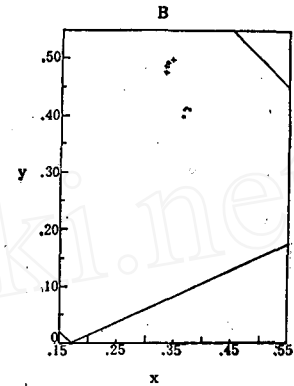


图 7 绿光照明前后色貌相同的白光色度

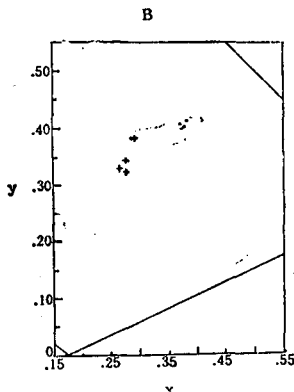


图 8 蓝光照明前后色貌相同的白光色度



图 9 黄光照明前后色貌相同的白光色度

在色貌发生变化的上述情况下,要求被试者重新改变三基色比例,进行白度匹配,即把右边测试野中出现的适应色光的补色去掉,使左右两边视野的白光看着一样。在被试进行这种调试后,发现色貌相同的白光在 1、2 秒后又发生变化——测验野中略微呈现与适应色类似的颜色,见图 2-9。

表 2 红光照明前后色貌相同的白光色度

| 类别          | 次序 | 被 试 者 A |       | 被 试 者 B |       |
|-------------|----|---------|-------|---------|-------|
|             |    | x       | y     | x       | y     |
| 照<br>明<br>前 | 1  | 0.383   | 0.415 | 0.377   | 0.406 |
|             | 2  | 0.380   | 0.414 | 0.375   | 0.417 |
|             | 3  | 0.378   | 0.411 | 0.376   | 0.417 |
|             | 4  | 0.375   | 0.419 | 0.372   | 0.418 |
| 照<br>明<br>后 | 1  | 0.493   | 0.366 | 0.513   | 0.302 |
|             | 2  | 0.512   | 0.352 | 0.466   | 0.355 |
|             | 3  | 0.520   | 0.345 | 0.477   | 0.347 |
|             | 4  | 0.523   | 0.348 | 0.476   | 0.346 |

表 3 绿光照明前后色貌相同的白光色度

| 类别          | 次序 | 被 试 者 A |       | 被 试 者 B |       |
|-------------|----|---------|-------|---------|-------|
|             |    | x       | y     | x       | y     |
| 照<br>明<br>前 | 1  | 0.376   | 0.405 | 0.361   | 0.400 |
|             | 2  | 0.378   | 0.413 | 0.369   | 0.414 |
|             | 3  | 0.387   | 0.425 | 0.366   | 0.413 |
|             | 4  | 0.382   | 0.418 | 0.375   | 0.413 |
| 照<br>明<br>后 | 1  | 0.351   | 0.496 | 0.332   | 0.479 |
|             | 2  | 0.352   | 0.487 | 0.334   | 0.485 |
|             | 3  | 0.357   | 0.493 | 0.341   | 0.499 |
|             | 4  | 0.359   | 0.494 | 0.336   | 0.492 |

表 4 蓝光照明前后色貌相同的白光色度

| 类别          | 次序 | 被 试 者 A |       | 被 试 者 B |       |
|-------------|----|---------|-------|---------|-------|
|             |    | x       | y     | x       | y     |
| 照<br>明<br>前 | 1  | 0.381   | 0.417 | 0.383   | 0.417 |
|             | 2  | 0.384   | 0.412 | 0.375   | 0.404 |
|             | 3  | 0.378   | 0.415 | 0.377   | 0.407 |
|             | 4  | 0.378   | 0.420 | 0.374   | 0.409 |
| 照<br>明<br>后 | 1  | 0.291   | 0.378 | 0.279   | 0.324 |
|             | 2  | 0.277   | 0.354 | 0.291   | 0.383 |
|             | 3  | 0.286   | 0.374 | 0.277   | 0.344 |
|             | 4  | 0.269   | 0.356 | 0.266   | 0.330 |

表 5 黄光照明前后色貌相同的白光色度

| 类别          | 次序 | 被 试 者 A |       | 被 试 者 B |       |
|-------------|----|---------|-------|---------|-------|
|             |    | x       | y     | x       | y     |
| 照<br>明<br>前 | 1  | 0.385   | 0.410 | 0.376   | 0.401 |
|             | 2  | 0.382   | 0.410 | 0.382   | 0.397 |
|             | 3  | 0.369   | 0.408 | 0.376   | 0.404 |
|             | 4  | 0.390   | 0.417 | 0.374   | 0.411 |
| 照<br>明<br>后 | 1  | 0.471   | 0.404 | 0.435   | 0.362 |
|             | 2  | 0.483   | 0.406 | 0.420   | 0.375 |
|             | 3  | 0.476   | 0.412 | 0.431   | 0.388 |
|             | 4  | 0.410   | 0.465 | 0.434   | 0.406 |

有关视网膜颜色分辨机制的研究,尤其是应用了显微光谱光度法对视网膜单个感受细胞视色素的研究,以及用微电极技术对视网膜单个细胞电活动的分析,都确认视网膜中存在着三种具有不同光谱敏感性的锥体细胞。60年代 W. B. Marks 发现金鱼的视网膜包含着三种不同色素的锥体细胞。其吸收峰值分别为  $455 \pm 15$ 、 $530 \pm 5$  和  $625 \pm 5$  毫微米。以后有很多学者都证实了这个发现,并对人和灵长目动物的锥体进行了有关研究<sup>[8]</sup>。

我们认为对某种色光适应后,在测试野中所呈现的该适应光的补色,以及经调试后出现的与该适应光类同的颜色,其原因就在于不同色光照后,在视网膜上感受相应色光的一种或两种锥体细胞的光谱敏感性有所降低(所谓选择性抑制),而其它锥体细胞的光谱敏感性相对增强的缘故。如绿光适应后,绿敏锥体细胞对绿光的敏感性降低,同时红敏和蓝敏锥体细胞的敏感性就相应提高。所以,由红、绿、蓝光混合而成的白光就被看成了品红色。这时只有增加绿光的强度或减弱红、蓝光的强度,才能把按新比例混合成的色光看成白光。随着绿敏锥体敏感性的恢复,这种新匹配的混合光,由于已经增加了绿光的强度,或减弱了红、蓝光的强度,所以就呈现了淡绿色。

本实验用心理物理的方法,仅就从视网膜感受细胞的角度,对相继颜色对比现象进行分析。实际上,色貌变化是一种复杂的神经生理过程,涉及到视觉中枢。

## 参 考 文 献

- [1] Graham, C. H. et al., *Vision and Visual Perception*, Chap 16,17, New York, Wiley, 1965.
- [2] Wright, W. D., The measurement and analysis of color adaptation phenomena. *Proceedings of the Royal Society of London (B)* Vol. CXV, p49, 1934.
- [3] Evans, R. M., *An introduction to color*. New York, Wiley, 1948 引自[1].
- [4] Fry, G. A., Chromatic adaptation and the red and green fundamental stimuli. *Farbe*, 1955, 4, 175.
- [5] MacAdam, D. L., Chromatic adaptation. *J. O. S. A.* 1956, 46, 500.
- [6] Brindley, G. S., Two new properties of foveal afterimages and a photochemical hypothesis to explain them. *Journal of Physiology*. 1962, Vol. 164, 168—179.
- [7] Breneman, E. J., Apparatus for the study of color perception under different adaptation conditions. *Color 77*, Invited lectures and extended abstracts of the papers to be presented at the 3rd congress of the international color association.
- [8] 杨雄里, 色觉研究的某些重要进展, *科学通报*, 1977, 22, 326—339.

## THE COLOR SHIFTS OF THE SAME COLOR APPEARANCE OF WHITE LIGHT AFTER ILLUMINATING WITH DIFFERENT COLORED LIGHTS

Xu Zong-hui      Lin Zhong-xian

(Institute of Psychology, Academia Sinica)

Pan Guang-yue

(Beijing Institute of Technology)

### Abstract

In this experiment the haploscopic method was used to test the change of color vision after illumination of different colored lights. The color shifts were measured and shown on the CIE 1931 color diagram.

It was found that colored lights similar to adapting colors took the same color appearance of white light. The results also showed that, after adaptation to an adapting colored light, a white light appeared to have a hue complementary to that light. These results may provide clues to further our understanding of visual process.