心 理 学 报
第1期 ACTA PSYCHOLOGICA SINICA 1991年

几种色光呈现条件下人眼红、绿光感受性的变化*[1)]

王东晖 林仲贤
中国科学院心理研究所

摘 要

采用阈值法探讨了人眼在红、橙、绿、蓝4种色光适应条件下红、绿光感受性的变化及机制。结果表明：当背景及目标均为稳光时，在不同的背景光条件下，人眼554nm(绿)及656nm(红)光感受性的变化显示了明显的感觉颉抗性效应，且不受色觉适应的影响；如果所呈现的背景光是稳态光，目标光是闪烁光，除辨别呈现在554nm背景光上的656nm(红)目标，在其余条件下，均未发现颜色感觉颉抗效应；如果背景光是闪烁光，目标光为稳态光时，在不同的背景光条件下，人眼对554nm(绿)及656nm(红)波长的辨别结果有感觉颉抗效应存在，并且辨别感受性也明显提高。

一、问 题

在颜色视觉中，适应与对比是最重要的功能之一。在不断变化的外界环境中，人眼是通过适应来调整其机能状态，以达到有效的视觉目的的。因而，有关人眼感受色光时所发生的对比与适应问题引起了许多研究者的注意。[1-6]

早在本世纪初，Von Kries[1]等就提出了称之为"系数律"的色适应数学模型，五、六十年代，D. Jamson & L. Hurvich等人[8-9]在研究颜色适应的诱导机制的基础上，进一步提出了"两重过程"论，即在人眼颜色适应过程中，存在着两种变化过程，一种是所谓三锥体感受器敏感性变化的过程，这一过程符合Von Kries"系数律"模型，而另一种则是由于中心刺激视场周围的背景适应视场诱导而引起的神经反响(neurous response)过程。

在D. Jamson & L. Hurvich的关于色适应与颉抗诱导效应的关系的研究中，使用了如下的方法。他们通过幻灯投射，给出不同的形状及变化亮度。如先由第一台幻灯呈现一个图形，然后再由另一台幻灯呈现另一个图形，使后者叠加在前者之上，因而冲淡了前者的色调。实验时，先让被试的左眼看幻灯呈现的色像，右眼观看单色的Munsell

* 本研究得到国家自然科学基金会的资助。
1) 本文于1990年2月8日收到。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

色样，要求被试选择某一块Munsell色样与左眼所看到的色像进行匹配，以研究影响色适应过程的有关因素。他们的结果表明，外周适应视场对中心目标的感觉产生了颉抗性的颜色诱导。

近年来，S. K. Shevell等人[10-12]，在利用成对对抗色抵消法（例如：用红660nm波长光去抵消绿540nm波长光，能量平衡时，视场在被试看起来既不红也不绿，这种方法可达0.1 log亮度值的精确度），在进一步证实了Jamson等人的背景诱导及适应作用的基础上，提出"加效应"概念。即由适应视场引起的颜色感受的加强（或减弱）。通过实验还发现，"加效应"与感受器敏感性变化是一个协调的过程。例如：对红光敏感性的下降，会同时导致对绿光的诱导象的出现。

我们发现，在Shevell的实验中，边周区域同中心目标刺激的亮度与目标刺激是不同的，如果两者具有同等亮度时，会发生怎么样的情况？Shevell采用稳光作为测试光，如果使用闪烁光会对被试的目标感受性产生什么影响？在本研究中，我们力图探讨某些特定的目标及背景刺激呈现对人眼的色觉感受性的影响，有助于我们对色光的适应条件下人的视觉特点有进一步的了解。

二、实验方法和结果

仪器装置

图1为实验装置示意图。光学系统按Maxwell双光路观察条件设置，其中S1，S2为溴钨灯光源，L1-L5为透镜，CF1，2为干涉滤光片，P为圆孔状光栏，F1-F4为中性偏振光片，C1，2为透射、折射棱镜，AP为2mm直径人工瞳孔。S1为测试光，即目标光，S2为背景光。

图2为被试所看到的Maxwell视场的示意图。视场（S）为6度视角，中心目标（△S）为1度视角，目标光叠加在背景上，目标及外周视场均系单色光刺激。（误差范围为10 nm）

实验时，由定时器控制继电器的连续开关，分别控制中心目标及边周背景色光的呈现时间。在每条光路中，有两片中性偏振光片。旋转其中一片，将改变两片的相对夹角，即可使光强达到所需要的水平，光路的光度值采用一台BM-2型彩色亮度计测定。在本研究实验中，背景光的网膜照度水平固定为45td。根据照度计算公式 $I = I_0(\cos x)^2$ 换算成照

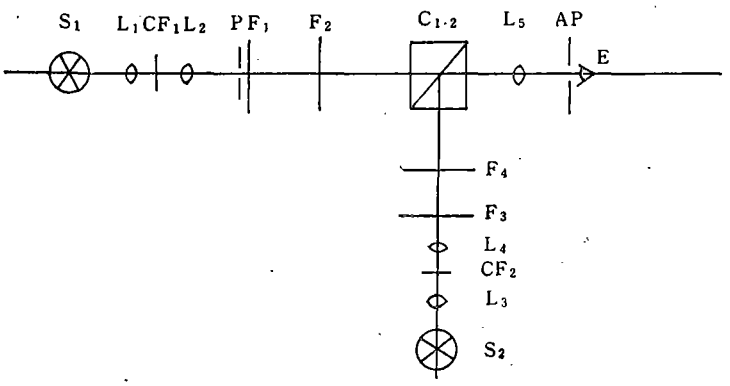

图1 实验装置示意图（说明见正文）

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

度。x为相对角度，I。视不同色光而有所不同。

在实验过程中，为了保持被试眼睛相对于人工瞳孔的正确位置，固定使用一专门托架，支撑被试的下颌。托架可根据情况向各方向任意调节。实验时，被试将托架调整到适当的位置，然后固定下来。

被试共三名（男两名，女1名），大学文化程度，平均年龄24岁，经检查色觉正常，裸眼视力在1.0以上。正式实验前都经过一定的练习，对实验要求有基本的了解。

实验程序

实验采用阈值法进行。被试首先在暗室暗适应5分钟，然后通过一小孔进行观察。每次实验，中心目标刺激及周围背景色光均有多种呈现组合。对每种组合情况，被试各进行8次辨别。实验采用ABBA，BAAB的顺序排列。实验中，被试对一种颜色作适应的时间，至少需9秒以上，即连续注视场9秒以上。然后，对在背景光中心短暂呈现的目标刺激作判断。中心目标的强度，由主试按最小变化法来进行调整。每次实验时，主试增大或减小目标刺激强度，直至被试报告目标出现（或消失）为止，主试记录每次刺激强度的数值。每次判断后，有短暂间隔，停止刺激呈现，以使被试有短暂的休息。

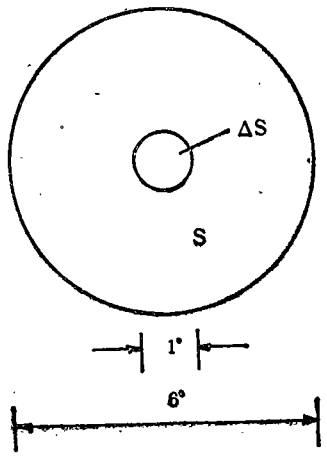

图2　Maxwell视场示意图（说明见正文）

实验包括三个部份。

实验一：呈现稳态背景色光及稳态红、绿目标光的条件下，人眼的目标感受性。

方法：在本实验中，目标刺激色光分两种，一种为554nm的绿色光，一种为656nm的红色光。背景适应光分别为461nm，554nm，600nm，及656nm不同波长的色光。背景光的网膜照度水平为45楚兰德(td)。

实验按照上述的程序进行。实验中，测定在呈现适应背景光之前和之后，被试对各个目标刺激的绝对判别阈值。表1中的“适应前”是指，在判别目标刺激前，没有给被试呈现适应背景色光，而将稳态背景色光及目标色光同时呈现给被试，呈现时间约为1秒；“适应后”是指，先呈现9秒适应色光，然后再将目标色光呈现于背景上，时间约为1秒，总计呈现10秒时间。

结果

见表1和图3、4。

表1　不同波长稳态背景光适应条件下的人眼对红、绿稳态目标光的感觉阈值

目标光(nm) \ 背景光(nm)		461(蓝)	554(绿)	600(橙)	656(红)
554(绿)	适应前	4.29	7.61	4.69	3.27
	适应后	3.24	6.43	4.12	2.61
656(红)	适应前	2.96	2.62	4.52	4.50
	适应后	2.13	2.08	3.56	3.92

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

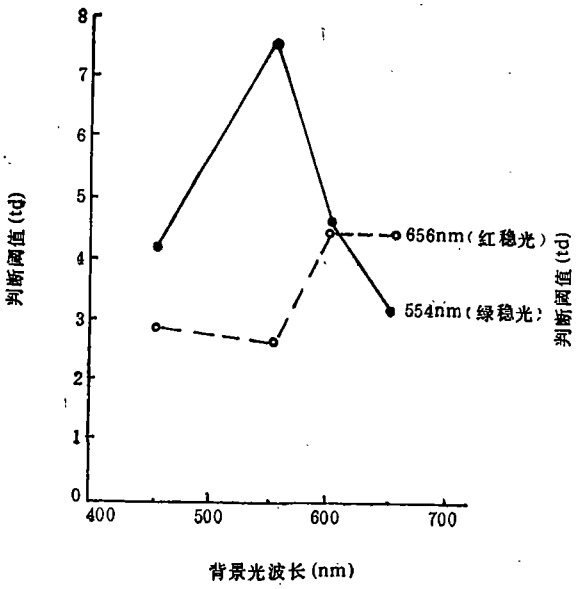

图 3 适应前被试对红、绿目标判别阈值

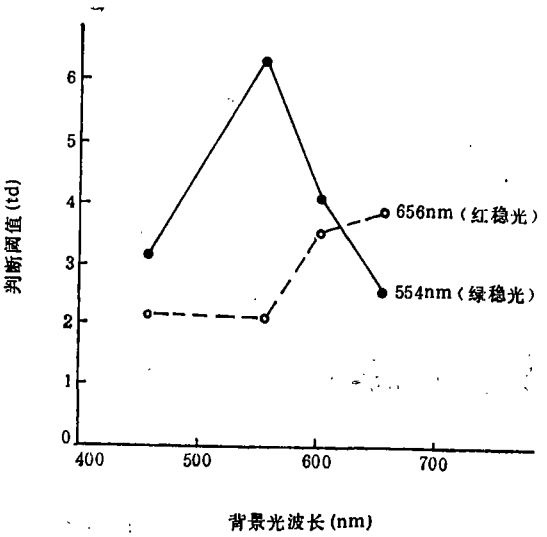

图 4 适应后被试对红、绿目标判别阈值

从表1及图3、4可以看到，无论对554nm还是对656nm波长的目标色光，在呈现给被试稳态适应光后，他们的目标判别阈值都降低了；亦即判别感受性都较未给予适应光高了。对554nm(绿)及656nm(红)的目标光来说，无论是否呈现适应光均得到了明显的感觉颉抗效应，如554nm(绿)波长的目标光，呈现在656nm(红)波长背景光上时，被试对该目标的判别阈值明显较之该目标呈现在554nm背景光上时低；反之亦然。

在同一背景上比较被试554nm绿光和656nm红光的目标判别阈，也可以发现类似的结果。

实验二：呈现稳态适应背景光和闪烁目标时被试的目标感受性

方法：目标刺激采用频率为5Hz的方波闪烁光，其它条件同实验一。

结果：见表2及图5、6

表 2 不同波长稳态背景光适应条件下的人眼对红、绿闪光目标的感觉阈值

目标光(nm) \ 背景光(nm) / 感觉阈限(td)	461(蓝)	554(绿)	600(橙)	656(红)
554(绿)适应前	4.02	3.37	4.77	2.84
适应后	3.43	5.77	3.97	2.84
656(红)适应前	3.38	3.54	3.93	2.95
适应后	2.98	2.67	4.06	2.93

从表2及图5、6可以看到，呈现闪光目标时，实验一中所得到的对红、绿色光判别的感觉颉抗效应已不明显。对同一背景进行比较时，当呈现给被试适应色光后，在以656nm为背景光时，被试对红、绿闪光目标的辨别阈限几乎没有什么差别，亦即无颉抗效应存在。但以554nm为背景光时，被试对红、绿闪光目标的辨别阈存在差别，即有颉抗诱导效

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

应存在，但要比实验一稳光目标条件下的颉抗效应小。

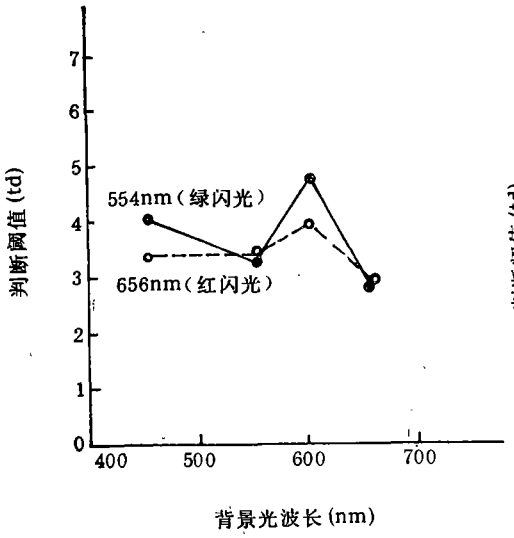

图 5　适应前被试对红、绿目标判断阈值

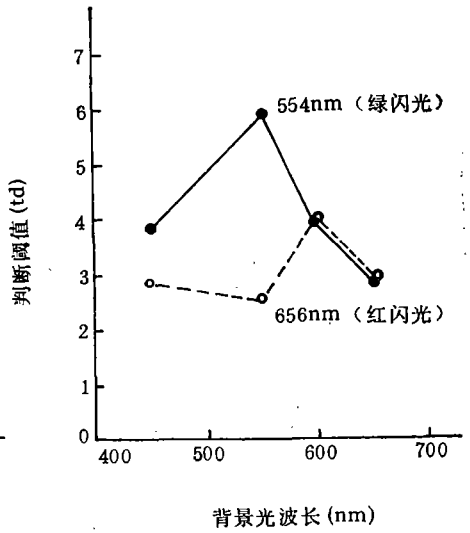

图 6　适应后被试对红、绿目标判别阈值

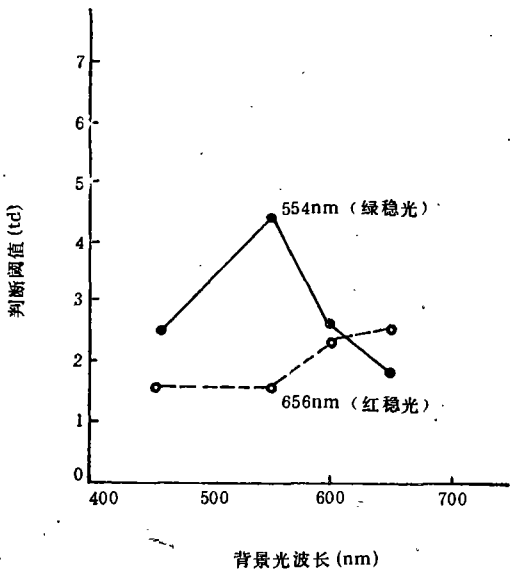

图 7　适应前被试对红、绿目标判别阈值

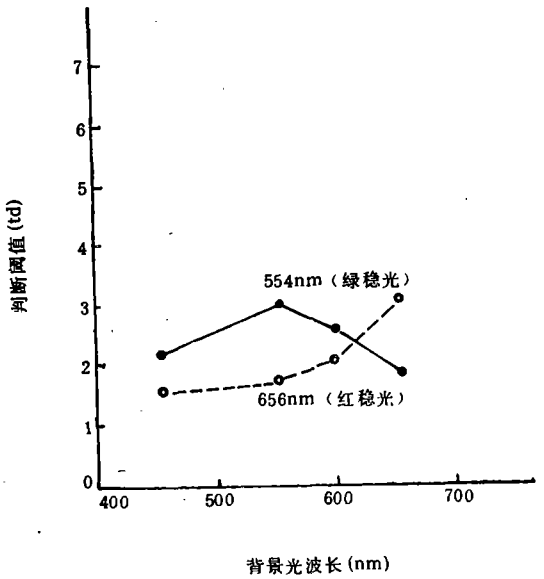

图 8　适应后被试对红、绿目标判别阈值

实验三：呈现闪烁适应背景光时人眼对红、绿稳光目标的感受性

方法：实验条件控制同上述实验，不同的是背景光以5Hz的频率闪烁，而目标光稳定。

结果：见表 3 及图 7、8

从表 3 及图 7、8 我们可以看到，在背景光为闪烁光时，被试对红、绿稳目标的辨别，无论在“适应前”条件和“适应后”条件都有明显的颉抗诱导效应，趋势和实验一基本相同，只是整体辨别阈有明显下降。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表3 不同波长闪烁背景光条件下人眼对红、绿稳态目标光的感觉阈限

目标光(nm) \ 背景光(nm)	461(蓝)	554(绿)	600(橙)	656(红)
554(绿)适应前	2.45	4.46	2.55	1.88
适应后	2.36	3.01	2.57	1.92
656(红)适应前	1.66	1.67	2.38	2.57
适应后	1.66	1.79	2.03	3.16

三、讨 论

在呈现不同稳态适应光时，人眼对红、绿稳态目标光的辨别感受性变化的结果表明，无论在“适应前”或“适应后”条件下，被试对红、绿目标的辨别都呈现明显的感觉颉效应，即以554nm(绿)作为适应背景光时，被试对656nm(红)的目标刺激的感受性远远高于对同样亮度的554nm(绿)的目标刺激的感受性(刺激阈值后者明显高于前者)。这种因诱导而产生神经响应，是符合于颜色视觉理论的。对于颜色对比度明显大的目标，会更容易地被从背景中区别出来。如果分辨的目标与背景的颜色比较接近或很接近，则目标的分辨便会增加困难。在这种情况下，相对而言，对比和诱导效应比色适应的影响要强一些。表1的结果表明，不同的色标呈现在不同的颜色背景上，其辨别感受性是不一样的。在刺激光和背景光保持稳态时，对554nm(绿)目标的辨别，以在656nm的红光作为适应背景光最好(感受性最高)，其次是461nm的蓝光背景，在其次是600nm的橙光背景，最差的是与其波长相同的554nm的绿光背景(平均刺激阈值最大)；对于656nm的红光目标刺激来说，亦是如此。

在呈现稳态背景适应光及闪烁目标光的条件下，颉抗效应明显地减弱了。根据S.K.Shevell等人的有关研究结果，当某一强边周背景光围绕一弱中心目标光时，如果目标光为闪烁光，那么，对该目标辨别的感觉颉抗效应会明显减弱，我们的结果也表现了同样的一种趋向。这种情况说明，闪烁对颜色对比效应有抵消作用。

如果背景光为闪烁光，而目标光为稳态光时所得到的结果表明，在该条件下，不仅颜色感觉的颉抗效果不会减弱，而且，背景光的闪烁会提高人眼对目标辨别的总体感受性，这可能是由于背景光强度的变化所产生的亮度对比效应。

四、结 论

1.无论是否呈现稳态的适应背景光，人眼在不同的背景光条件下对554nm(绿)及656nm(红)波长的稳态目标刺激的感受性变化的结果说明，在该条件下有明显的感觉颉抗效应存在。

2.当所呈现的适应背景光是稳态的，而目标光是闪烁光时，除656nm(红)波长光以554nm(绿)波长光为适应背景光条件下，在其余情况下，均未发现颜色感觉的颉抗效应。

3.在背景光为闪烁光且目标光是稳光时，人眼对554nm(绿)及656nm(红)波长的目标辨别结果表明有颉抗效应的存在，并且，辨别感受性明显提高。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

参 考 文 献

[1] MacAdam D.L. Chromatic Adaptation, J. Opt. Soc. Am. 46, 1956, 500-513.

[2] De Valois R.L. and Valraven J., Monocular and binocular aftereffect of chromatic adaptation. Science, 155, 1967, 463-465.

[3] Bartleson C.J., Changes in color appearance with variation in chromatic adaptation, Color Research and Application, 1979, 4, 119-138.

[4] 贺极苍　林仲贤，同时颜色对比机制的空间特性，心理学报，1989，2，169—175。

[5] 林仲贤 孙秀如，视觉及测色标准，科学出版社，1987，126—128。

[6] 许宗惠 林仲贤 潘广钺，不同色光照明后相同白光色貌的色位移——相继颜色对比，心理学报，1988，2，159—165。

[7] Wyszecki G., Color appearence. Handbook of Perception and Human Performance, John Wiley & Son, 1986, Chapter 9.

[8] Jameson D. and Hurvich L., Some quantitative aspects of an opponent-color theory., I. Chromatic responeses and spectral saturation, J.Opt. Soc.Am.45, 1955, 546-552.

[9] Jameson D. and Hurvich L., Opponent chromatic induction; Experimental evaluation and theoretical account, J. Opt.Soc. Am. 51, 1961, 46-53.

[10] Shevell S. K., Unambiguous evidence for the addtive effect in chromatic adaptation, Vision Research, 20, 1980, 637-639.

[11] Shevell S.K. and Humanski R., Color perception under contralateral and binoculary fused chromatic adaptation, Vision Research, 24, 1984, 1011-1019.

[12] Shevell S.K., The dual of chromatic backgrounds in color perception, Vision Research, 18, 1978, 1649-1661.

SENSITIVITY OF RED AND GREEN LIGHT VISION LN CHROMATIC ADAPTATION

Wang Donghui　　Lin Zhongxian

Institute of Psychology, Academia Sinica, Beijing

Abstract

The Sensitivity for red and green light vision under several chromatic adaption conditions were studied by using threshold method. The results show that: (1) when the stimulus light target and the background light (adaptation light) are both steady, there exists obvious opponent effects in sensitivity for red and green light vision; (2) when the stimulus light target flickers and the background light is steady, the opponent effect is obviously diminished; (3) when background light flickers while the stimulus light target is steady, there still exists obvious opponent results in red and green light vision and sensitivity increases.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net