

# 先天性红-绿色觉异常者的 非彩色表色色差辨别研究\*

池海宏

(河北省石家庄市人事局, 石家庄 050011)

孙秀如 许宗惠

(中国科学院心理研究所, 北京 100101)

**摘要** 该文就先天性红-绿色觉异常者对非彩色系表色色差的辨别展开了研究。结果表明, 先天性红-绿色觉异常者色差识别的量值 $\Delta E$ 随目视评价的等级不同而异; 先天性红-绿色觉异常者与色觉正常者在非彩色表色辨别上存在一定的差异; 同一明度等级上, 下限的变化对先天性红-绿色觉异常者的非彩色表色辨别存在影响, 这种影响与明度的级别有关。

**关键词** 先天性红-绿色觉异常者, 表色色差辨别, 色差。

**分类号** B842.2

## 1 前言

作为人类视觉器官三大功能(光觉、形觉和色觉)之一的色觉有正常和异常之分。异常色觉中有些色觉缺陷是遗传的, 其类型和轻重程度终生不变, 这类色觉异常称为先天性色觉异常; 有些色觉缺陷随视觉器官的疾病继发而来, 它们的演变过程与原发病病情的变化相平行, 将其称为后天性色觉异常<sup>[1,2]</sup>。先天性色觉异常可分为红-绿异常、蓝-黄异常和全色盲, 本文只讨论其中的先天性红-绿色觉异常。

从理论上说, 一个较为完善的色觉理论应不仅能阐明正常色觉的特点, 而且能解释各类异常色觉的特点, 所以色觉的研究应该包括异常色觉。而目前对异常色觉的颜色辨别研究主要用光谱色进行, 异常色觉的表色辨色研究尚未见有关资料报道, 本实验试图在这方面开展一些探讨性研究。另外, 孙秀如等已经对正常人进行了非彩色表色色差的辨别研究<sup>[3]</sup>, 将本研究的结果与其进行对照, 以便验证先天性红-绿色觉异常者和正常人在非彩色表色色差的辨别上是否存在差异。

## 2 实验方法

### 2.1 光源

采用美国 ACS 公司标准光源灯箱中的 D65 模拟光, 照度在  $400 \pm 50$  勒克斯。

### 2.2 照明及观察方向

采用 CIE1971 年推荐的 0/45 方式, 即垂直方向照射样片, 45° 方向观察评价。视角为 10° 视场。

### 2.3 观察背景环境

为避免背景色对实验色产生影响, 实验中采用的背景色是无光泽的、刺激值  $Y_{10} \approx 30\%$  的中性灰。

### 2.4 被试

选用的被试是先天红-绿色觉异常的高中女生, 共 43 人。他们全部为男性, 年龄在 15—19 岁。其中 23 人为红-绿色盲, 20 人为红-绿色弱。

本研究对色觉异常者的确认分两个步骤进行: 首先用俞自萍的《色盲检查图》<sup>[4]</sup> 初步检出红-绿色觉异常者, 然后用中国科学院心理研究所仿制的 Panel D-15 检测<sup>[5]</sup> 确定其类型和程度, 同时还用王克长的《色盲检查图》<sup>[6]</sup> 对各异常者作了辅助性检查, 以便确认色觉异常的程度。

### 2.5 实验样片

**2.5.1 材质** 选用铜版纸纸基、喷涂无光涂料。

**2.5.2 明度值的选择** 为了实验结果的可靠性, 本研究选取了中国颜色体系明度轴<sup>[7]</sup> 上的 3~8 六个等级, 标准样片也相应地有六级, 其反射比分别为

收稿日期: 2000-07-10。

\* 国家自然科学基金会资助项目(69848003)。

7.06%、12.24%、20.04%、28.97%、41.34% 和 55.84%。从样片测试数值可以看到,实验样片的反射比在 4.58%—75.28% 范围内,基本包括了白—黑系列中的高、中、低明度等级。

**2.5.3 色差** 标准样片和比较样片的级差 $\Delta E$ 分设为 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、

共 15 个级差。每一级差的比较样片均有高于和低于标准样片两个可比较的系列,以便看色觉异常者的辨别是否受上、下限的影响。

**2.5.4 色度测试** 采用美国 Macbeth 公司生产的 CE 7000 分光光度计对各类样片进行了色度测试,色差的计算选用 CIE LAB 公式,测试结果见表 1。

表1 非彩色系列各标准样片和比较样片的反射率及色差值

标样的 反射比(%)	比样的 反射比(%)	色差值 ( $\Delta E$ )	标样的 反射比(%)	比样的 反射比(%)	色差值 ( $\Delta E$ )	标样的 反射比(%)	比样的 反射比(%)	色差值 ( $\Delta E$ )
7.06	7.09	0.07	12.24	13.57	2.02	20.04	24.48	4.70
7.06	7.13	0.22	12.24	14.31	3.08	20.04	25.15	5.35
7.06	7.17	0.33	12.24	14.97	4.02	20.04	26.18	6.34
7.06	7.21	0.36	12.24	15.68	4.98	20.04	26.97	7.08
7.06	7.30	0.60	12.24	16.60	6.18	20.04	28.00	8.01
7.06	7.33	0.69	12.24	17.40	7.19	20.04	29.11	9.01
7.06	7.35	0.74	12.24	18.39	8.39	20.04	30.43	10.17
7.06	7.44	0.88	12.24	19.09	9.22	20.04	19.96	0.10
7.06	7.46	0.93	12.24	19.89	10.13	20.04	19.85	0.22
7.06	7.50	1.03	12.24	12.20	0.23	20.04	19.76	0.32
7.06	7.86	1.88	12.24	12.13	0.31	20.04	19.72	0.41
7.06	8.19	2.52	12.24	12.11	0.42	20.04	19.60	0.51
7.06	8.54	3.24	12.24	11.97	0.54	20.04	19.51	0.61
7.06	9.26	4.79	12.24	11.96	0.60	20.04	19.49	0.64
7.06	9.64	5.46	12.24	11.78	0.73	20.04	18.89	1.32
7.06	10.15	6.38	12.24	11.72	0.82	20.04	18.22	2.13
7.06	10.63	7.22	12.24	11.68	0.89	20.04	17.63	2.84
7.06	11.08	7.98	12.24	11.54	1.13	20.04	17.41	3.13
7.06	11.60	8.85	12.24	10.99	2.03	20.04	16.79	3.88
7.06	11.90	9.35	12.24	10.30	3.25	20.04	16.03	4.87
7.06	12.40	10.16	12.24	9.70	4.34	20.04	15.57	5.48
7.06	7.03	0.12	12.24	9.35	5.05	20.04	14.96	6.31
7.06	6.97	0.26	12.24	8.91	5.83	20.04	14.23	7.33
7.06	6.94	0.30	12.24	8.44	6.80	20.04	13.62	8.21
7.06	6.88	0.42	12.24	8.22	7.22	20.04	13.04	9.07
7.06	6.85	0.51	12.24	7.49	8.86	20.04	12.38	10.07
7.06	6.65	1.15	12.24	7.33	9.28	28.97	29.00	0.11
7.06	6.39	1.78	12.24	6.95	10.07	28.97	29.25	0.26
7.06	6.28	2.09	20.04	20.08	0.17	28.97	29.32	0.30
7.06	6.12	2.43	20.04	20.09	0.22	28.97	29.38	0.37
7.06	5.68	3.67	20.04	20.27	0.30	28.97	29.41	0.68
7.06	5.02	5.73	20.04	20.41	0.42	28.97	29.83	0.76
7.06	4.58	7.39	20.04	20.49	0.51	28.97	30.32	1.17
12.24	12.25	0.16	20.04	20.56	0.60	28.97	30.71	1.52
12.24	12.33	0.29	20.04	20.65	0.69	28.97	32.03	2.64
12.24	12.38	0.40	20.04	20.84	0.90	28.97	32.52	3.03
12.24	12.39	0.44	20.04	20.89	0.95	28.97	33.44	3.77
12.24	12.43	0.58	20.04	20.95	1.07	28.97	34.56	4.68
12.24	12.53	0.62	20.04	21.68	1.80	28.97	35.71	5.56
12.24	12.61	0.73	20.04	22.48	2.66	28.97	37.02	6.54
12.24	12.88	1.00	20.04	23.43	3.63	28.97	38.30	7.53

续表1

标样的 反射比(%)	比样的 反射比(%)	色差值 ( $\Delta E$ )	标样的 反射比(%)	比样的 反射比(%)	色差值 ( $\Delta E$ )	标样的 反射比(%)	比样的 反射比(%)	色差值 ( $\Delta E$ )
28.97	39.53	8.42	41.34	44.15	1.93	55.84	56.82	0.63
28.97	41.04	9.50	41.34	45.43	2.79	55.84	56.93	0.76
28.97	42.53	10.56	41.34	45.84	3.08	55.84	57.07	0.82
28.97	28.86	0.11	41.34	47.60	4.19	55.84	57.47	0.92
28.97	28.77	0.22	41.34	49.06	5.13	55.84	57.55	0.97
28.97	28.63	0.32	41.34	50.68	6.13	55.84	59.00	1.86
28.97	28.51	0.42	41.34	52.21	7.03	55.84	60.78	2.74
28.97	28.41	0.50	41.34	54.00	8.13	55.84	61.82	3.34
28.97	28.22	0.68	41.34	55.76	9.17	55.84	63.57	4.26
28.97	28.13	0.79	41.34	57.49	10.13	55.84	65.47	5.25
28.97	28.12	0.81	41.34	41.19	0.17	55.84	67.47	6.35
28.97	27.97	0.93	41.34	41.05	0.20	55.84	68.70	7.03
28.97	27.68	1.16	41.34	40.87	0.33	55.84	71.16	8.13
28.97	26.46	2.29	41.34	40.74	0.42	55.84	73.91	9.48
28.97	25.49	3.21	41.34	40.59	0.53	55.84	75.28	10.28
28.97	24.58	4.12	41.34	40.44	0.63	55.84	55.67	0.10
28.97	23.70	4.99	41.34	40.48	0.73	55.84	55.43	0.27
28.97	23.06	5.63	41.34	40.25	0.79	55.84	55.34	0.32
28.97	22.08	6.66	41.34	40.07	0.91	55.84	55.10	0.43
28.97	21.23	7.57	41.34	39.92	1.01	55.84	55.09	0.50
28.97	20.35	8.56	41.34	38.18	2.26	55.84	54.59	0.74
28.97	19.89	9.05	41.34	36.60	3.48	55.84	54.37	0.85
28.97	19.31	9.73	41.34	35.59	4.21	55.84	54.15	0.98
28.97	18.87	10.24	41.34	34.05	5.44	55.84	53.94	1.10
41.34	41.37	0.12	41.34	33.18	6.13	55.84	52.38	2.02
41.34	41.66	0.24	41.34	32.12	7.02	55.84	50.19	3.35
41.34	41.89	0.39	41.34	30.97	7.98	55.84	49.33	3.87
41.34	41.91	0.41	41.34	29.87	8.91	55.84	47.65	4.94
41.34	42.04	0.51	41.34	28.50	10.11	55.84	45.81	6.13
41.34	42.33	0.71	55.84	56.13	0.27	55.84	44.90	6.73
41.34	42.50	0.82	55.84	56.16	0.33	55.84	43.01	8.01
41.34	42.61	0.95	55.84	56.52	0.43	55.84	41.52	9.04
41.34	42.73	1.02	55.84	56.81	0.57	55.84	39.84	10.24

由表1可以看到,各级色差的比较样片基本上都得到了,共有222个样片。

## 2.6 表色色差感觉等级

为了与正常人的结果相比较,本实验设立了与孙秀如等<sup>[1]</sup>相同的六个感觉等级,即相同、相似、微量差(辨别阈限值)、可觉差、可识别和大差别。

## 2.7 实验操作

实验过程中需要控制练习和疲劳效应,每个被试进行实验时采用的样片顺序都是按照拉丁方格的方法预先定好的。实验时要求被试逐一将比较样片和标准样片放在同一视场内相衔接的位置上进行比色。被试可以反复比对,直到得出满意的结果为

止。

## 3 实验结果

### 3.1 红-绿色盲非彩色系的色差感觉值

对红-绿色盲的实验结果进行统计处理时,是以心理物理统计学中的常规处理法,即将观察者对每个样片选择次数之和超过辨别总数的75%作为级差确定界限。上、下限分别计算,然后取二者的平均值。23名红-绿色盲的实验统计结果见表2。

表2的结果表明,红-绿色盲只得到5个感觉等级的色差值,“相同”等级的色差值没能得到,“相似”等级的色差值也只是在中间四个明度系列上得到

表2 红-绿色盲非彩色系的色差感觉值( $\Delta E$ )

感觉等级	上下限	标准样片反射比(%)					
		7.06	12.24	20.04	28.97	41.34	55.84
相	上限	0.60	0.62	0.51	0.11	0.41	—
	下限	—	0.23	0.64	0.68	0.53	0.98
似	平均	—	0.43	0.58	0.40	0.47	—
微量	上限	1.88	1.00	1.80	1.52	1.02	0.97
	下限	0.51	2.03	1.32	1.16	1.01	1.10
差	平均	1.20	1.52	1.56	1.34	1.02	1.04
可	上限	3.24	3.08	2.66	3.77	2.79	2.74
	下限	2.09	3.25	2.84	3.21	2.26	3.87
差	平均	2.67	3.17	2.75	3.49	2.53	3.31
可	上限	7.22	7.19	6.34	5.56	4.19	3.34
	下限	3.67	5.83	6.31	5.63	6.13	4.94
识	平均	5.45	6.51	6.33	5.60	5.16	4.14
大	上限	10.16	10.13	10.17	10.56	10.13	9.48
	下限	7.39	10.07	10.07	9.73	8.91	9.04
别	平均	8.78	10.10	10.12	10.15	9.52	9.26

了。红-绿色盲非彩色表色辨别的色差值随目视评价的等级不同而异,当 $\Delta E < 0.58$ 时,红-绿色盲认为标准样片和比较样片相似;  $0.58 < \Delta E < 1.56$ 时,标准样片和比较样片之间的差别刚刚能被红-绿色盲察觉到;  $1.56 < \Delta E < 3.49$ 时,色样间的差别不用仔细辨认就能被红-绿色盲判断出来;  $3.49 < \Delta E < 6.51$ 时,红-绿色盲感觉两个色样不属于同一数量级;  $\Delta E > 8.78$ 以后,红-绿色盲认为色样间的差别是大差别。

另外,对表2中的数据进行计算后发现,红-绿

色盲在前两个低明度系列,77.78%的下限 $\Delta E$ 值比上限 $\Delta E$ 值小;中间两个明度系列,上限和下限的 $\Delta E$ 值非常接近;而到了后两个高明度系列,下限 $\Delta E$ 值有一半要比上限的大。这与正常人有着不同,正常人同一明度等级下限的 $\Delta E$ 值多比上限 $\Delta E$ 值小,比例占到87.5%,究其原因有待进一步探讨。

### 3.2 红-绿色弱非彩色系的色差感觉值

20名红-绿色弱的实验统计结果见表3,统计方法也是常规处理法。红-绿色弱同样只得到5个感觉等级的色差值,“相同”等级的色差值没能得到,

表3 红-绿色弱非彩色系的色差感觉值( $\Delta E$ )

感觉等级	上下限	标准样片反射比(%)					
		7.06	12.24	20.04	28.97	41.34	55.84
相	上限	0.60	0.73	—	—	0.41	0.57
	下限	—	1.13	0.61	0.81	0.79	1.10
似	平均	—	0.93	—	—	0.60	0.84
微量	上限	3.24	2.02	1.80	1.17	1.93	0.97
	下限	0.51	1.13	1.32	1.16	1.01	2.02
差	平均	1.88	1.58	1.56	1.17	1.47	1.50
可	上限	3.24	3.08	2.66	2.64	3.08	0.97
	下限	2.43	3.25	2.84	2.29	3.48	3.87
差	平均	2.84	3.17	2.75	2.47	3.28	2.42
可	上限	7.22	7.19	5.35	5.56	5.13	4.26
	下限	2.43	5.83	5.48	6.66	6.13	6.73
识	平均	4.83	6.51	5.42	6.11	5.63	5.50
大	上限	10.16	10.13	10.17	10.56	10.13	9.48
	下限	7.39	10.07	10.07	10.24	10.11	10.24
别	平均	8.78	10.10	10.12	10.40	10.12	9.86

“相似”等级的色差值也没有得全。在正常人的研究中,“相同”和“相似”两个感觉等级的色差值均未能得到。这可能不是因为被试的辨别力强,而是一些外界及心理因素的影响。如被试对分开的两块反射率近似的样片有易于做出有差别反应的倾向,他们总是认为不可能呈现给他们两块完全相同的样片。再者,相同、相似和微量差这三个感觉等级比较接近,被试不容易加以区分。加上前一种因素的影响,使得他们容易把色样间微小的差别归到“微量差”这一等级,而不是“相同”或“相似”等级。微量差、可觉差、可识别、大差别四个感觉等级,由于彼此间的差别较明显,被试区分起来容易得多,因而各个感觉等级的色差值都得到了。

红-绿色弱非彩色表色辨别的色差值同样随目视评价的等级不同而异。他们将 0—0.93 的色差判

为相似,0.93—1.88 的色差判为微量差,1.88—3.28 的色差判为可觉差,3.28—6.51 的色差判为可识别,8.78 以上的色差判为大差别。

将红-绿色弱的结果与红-绿色盲及色觉正常者的结果进行差异显著性检验,结果见表 4。表 4 表明:红-绿色弱和红-绿色盲相应感觉等级的色差值没有显著差异,色差值的大小仅随感觉等级的变化而变大;红-绿色弱相应感觉等级的色差值显著大于色觉正常者;红-绿色盲微量差等级的色差值与色觉正常者没有明显差异,可觉差、可识别和大差别三个感觉等级的色差值显著偏大,进而可以认为先天性红-绿色觉异常者与色觉正常者在非彩色表色辨别上是存在一定差异的。

同一明度等级上、下限的变化对红-绿色弱的表色辨别存在着影响,而且这种影响同红-绿色盲一

表 4 红-绿色弱、红-绿色盲及色觉正常者相应感觉等级色差值的 t 检验

感觉等级	红-绿色弱的 平均色差值	红-绿色盲的 平均色差值	正常者的 平均色差值	红-绿色弱和 红-绿色盲之 间的 t 值	红-绿色弱和 色觉正常者之 间的 t 值	红-绿色盲和 色觉正常者之 间的 t 值
微量差	1.52	1.28	1.20	1.85	2.83*	0.68
可觉差	2.82	2.99	1.66	0.77	5.55*	6.04*
可识别	5.67	5.53	3.68	0.32	3.60*	3.04*
大差别	9.90	9.66	7.66	0.74	2.86*	2.55*

注: \*P<0.05。

样,与明度的级别有关系。在前两个低明度系列,依然有 77.78% 的下限  $\Delta E$  值比下限  $\Delta E$  值小;中间两个明度系列,下限  $\Delta E$  值和上限  $\Delta E$  值非常接近;到后两个高明度系列,有 80% 的上限  $\Delta E$  值要比上限  $\Delta E$  值大。也就是说,同一明度等级上、下限的影响在红-绿色弱身上表现得更加明显。

## 4 结 论

由本研究可以初步得出以下结论:

(1) 先天性红-绿色觉异常者非彩色表色辨别的色差值随目视评价的等级不同而异;

(2) 先天性红-绿色觉异常者与色觉正常者在非彩色表色辨别上存在一定的差异;

(3) 同一明度等级上、下限的变化对先天性红-绿色觉异常者的非彩色表色辨别存在影响。在低明度系列,下限的色差值多比上限色差值小;中等明度

系列,上、下限的色差值非常接近;而到高明度系列,下限的色差值多比上限色差值大。

## 参 考 文 献

- 1 J Pokorny, C Smith, G Verriest. Congenital and acquired color vision defects. New York: Crune & Stratton, Inc, 1979. 83—100,183—241
- 2 I Foster, H David. Inherited and acquired color vision deficiencies; fundamental aspects and clinical studies. Basingstoke, Hamoshiro Macmillan, 1991. 4—37
- 3 孙秀如,林志定,张家英. 中国人眼对非彩色系表色色差辨别的实验研究. 心理学报, 1995, 27(3): 231—242
- 4 俞自萍. 色盲检查图. 北京: 人民卫生出版社, 1982
- 5 A Linksz. The farnsworth panel D-15 test. American Journal of Ophthalmology, 1966, 62(1): 27—37
- 6 王克长. 色盲检查图. 北京: 人民卫生出版社, 1993
- 7 王大珩, 荆其诚, 孙秀如等. 中国颜色体系研究. 心理学报, 1997, 29(3): 225—233

## SURFACE COLOR DISCRIMINATION OF ACHROMATIC COLOR IN CONGENITAL RED-GREEN COLOR-VISION ABNORMAL PEOPLE

Chi Haihong

*(Shijiazhuang Municipal Personnel Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang, 050011)*

Sun Xiuru Xu Zonghui

*(Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101)*

### Abstract

This research was on surface color discrimination of achromatic color in congenital red-green color-vision abnormal people. The results showed that, The  $\Delta E$  of congenital red-green abnormal people varied with the changes of the grade of visual evaluation; there were certain differences in surface color discrimination of achromatic color between congenital red-green abnormal people and normal people; the changes of upper limit and lower limit of the same brightness grade had effect on surface color discrimination of congenital red-green abnormal people, the effect was concerned with brightness grades.

**Key words** Congenital red-green color-vision abnormal people, surface color discrimination, color difference.