

实验一、光源色的测量及照明光对物体色的影响

一、实验目的

- (1) 通过演示、观察和测量，了解照明光的改变对所观察物体颜色视觉的影响；
- (2) 了解 PR-1980B 分光辐射计的组成和主要性能，并掌握使用方法。

二、实验仪器和设备

- (1) PR 1980B 光谱辐射计；
- (2) 标准光源箱；
- (3) 微型计算机；
- (4) 样品 (D371-6, D372-6, D402-6)。

三、实验原理

对于光刺激来说，对颜色视觉有决定影响的特性是光谱功率分布。物体的照明光源的光谱分布不同，则物体色会相应改变。因此，当照明光的光强和色温改变时，我们对同一物体颜色的感觉也会发生变化。

实验采用光谱辐射计测量不同照明光源下各个实验样品的辐射能量，进而通过色度学计算得到样品在不同光源照明下的三刺激值及色品坐标，最后通过人眼观察和实验数据处理，将同一样品在不同光源下的色品坐标描绘在 CIE 的均匀色空间中，比较出其颜色变化。

四、实验步骤

- (1) 演示和观察。将样品放在标准光源箱中，先打开 D65 光源，观察样品颜色，然后关闭 D65 光源；再打开 A 光源，观察同一样品，注意样品的颜色变化，描述主观颜色感觉；
- (2) 测色。使用光谱辐射计测量样品在上述两种照明光下的色品坐标，样品的放置位置应符合 CIE 标准观察条件 45/0 或 0/45；
- (3) 分析与计算。将测得的样品光谱能量分布的数据导入计算机，通过后期实验数据处理，完成不同照明光源照射下样品颜色的变化情况。

五、实验结果及分析

- (1) 照明光源由 D65 变化为 A 时的颜色变化感觉：

本实验中我使用的样品编号分别为 D371-6, D372-6, D402-6，其色块上的英文名称分别是 Celadon, Turquoise, Oasis (译为青瓷、绿松石、绿洲)，在日光下观察呈现出不同饱和程度的青绿色。当样品放置在 D65 光源的照射下，样品的颜色与在日光下观察的颜色基本一致，仍呈现出不同色调、不同饱和程度的青绿色；但当样品在 A 光源下观察时，颜色

发生明显变化，样品颜色的饱和度明显提高，色调由青绿色变为黄绿色，与日光下观察到的颜色有明显差别。

(2) 样品在不同照明光源下的色品坐标变化（使用 CIE 1976 $L^*u^*v^*$ 均匀颜色空间的明度差、彩度差、饱和度差和总色差表示）：

A. 不同光源照明下的样品辐射强度分布数据（详见附表一）；

在 D65 光源照射下的样品辐射强度分布如下图所示：

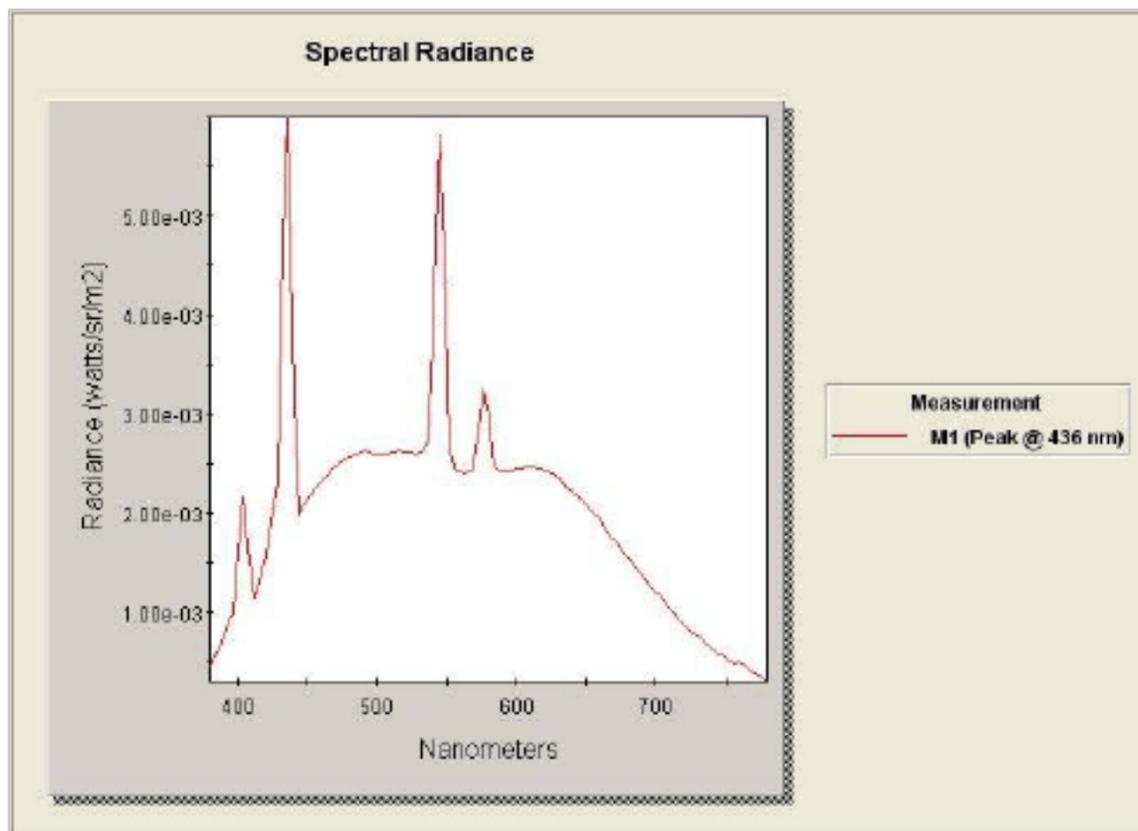


图 1 D65 光源照明时白板的辐射强度分布

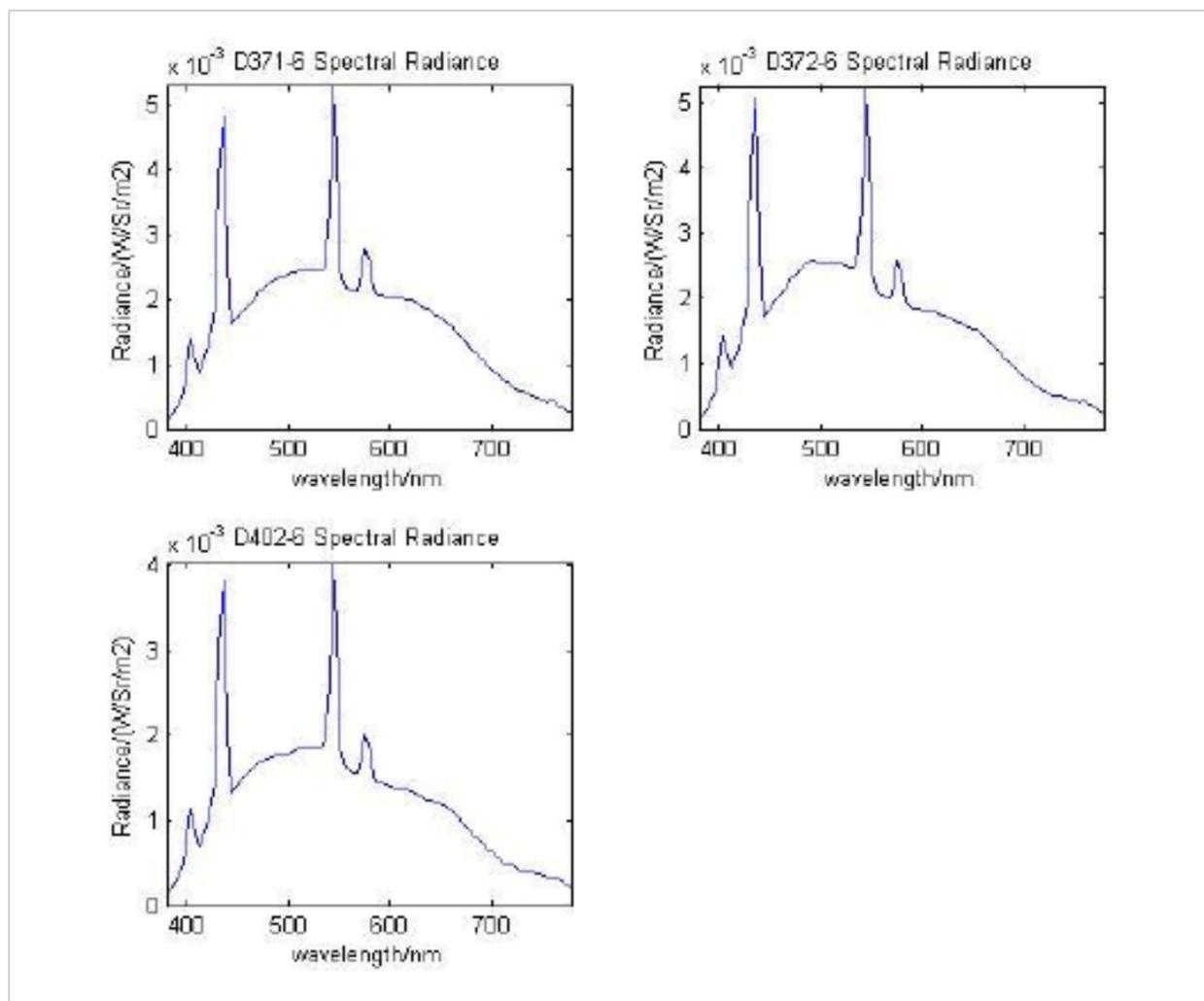


图 2 D65 光源照明时三种样品的辐射强度分布

在 A 光源照射下的样品辐射强度分布如下图所示：

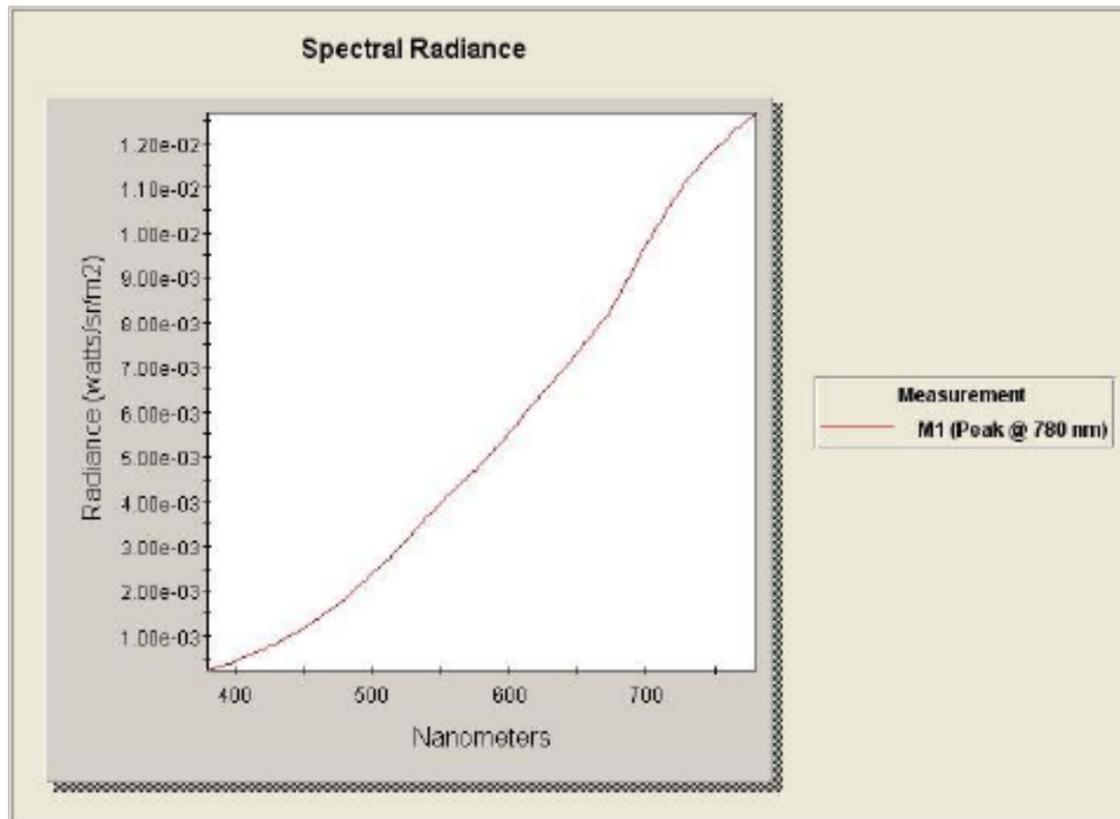


图 3 A 光源照明时白板的辐射强度分布

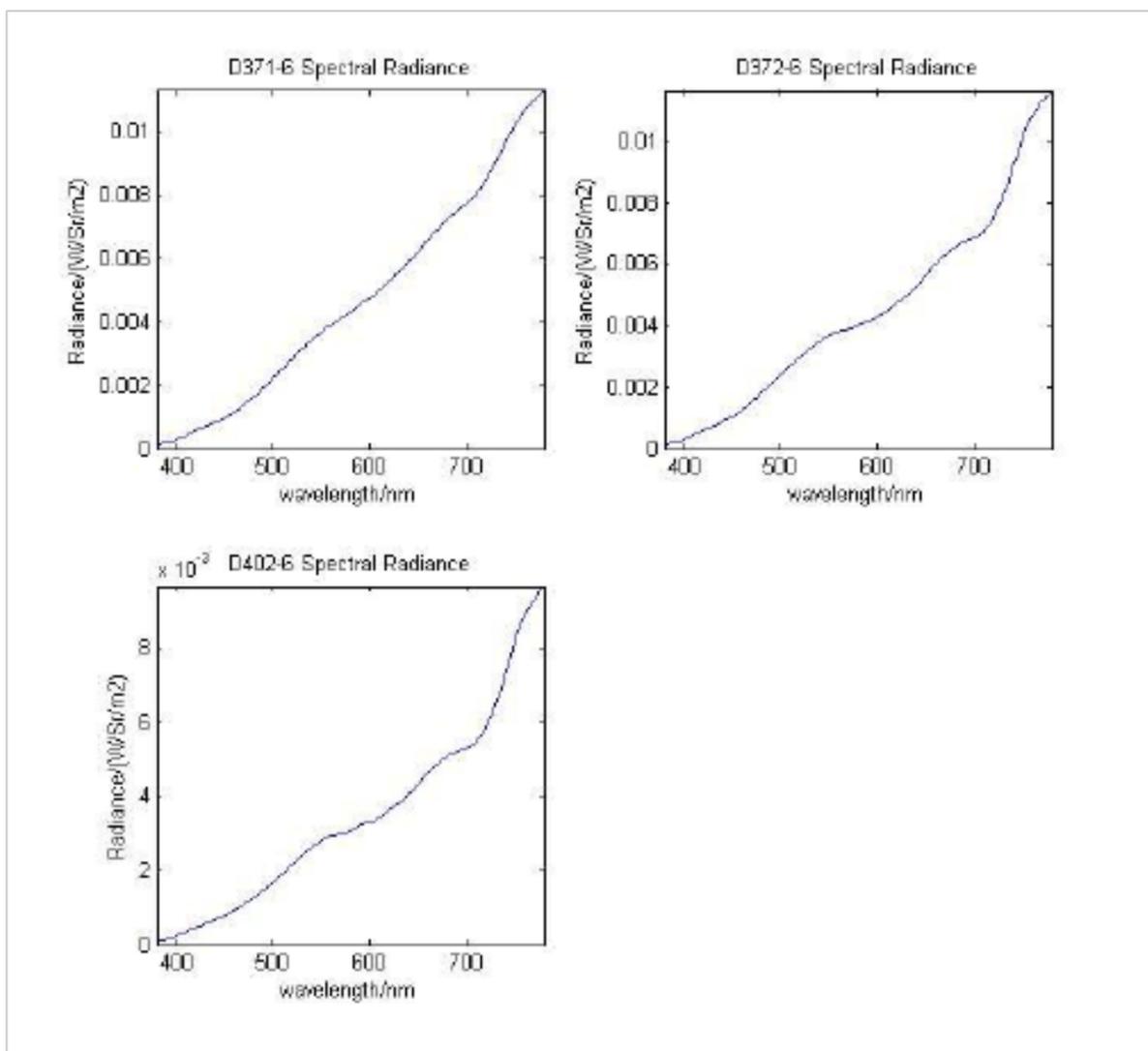


图 4 A 光源照明时三种样品的辐射强度分布

B. 利用 Matlab 数学软件计算得到的样品三刺激值及色品坐标；

通过整理在不同照明光源下的样品辐射功率分布数据，并将 CIE 1931 标准色度观察者的光谱三刺激值（附表二）分别带入相应的色品坐标计算公式中，可以得到的相应的色品坐标值，我们通过表格来表示计算得到的数据，下表中显示的数据依次为不同光源照射下不同样品的 CIE 1931 颜色三刺激值、CIE 1931 色品坐标、CIE 1976 UCS 色品坐标以及 CIE 1976 $L^*u^*v^*$ 色品坐标：

	D65 光源照射下的样品			A 光源照射下的样品		
	D371-6	D372-6	D402-6	D371-6	D372-6	D402-6
X	8.934373E-06	8.437734E-06	6.470338E-06	6.399844E-05	5.908714E-05	4.531036E-05
Y	1.004141E-05	9.765804E-06	7.413411E-06	5.968005E-05	5.723632E-05	4.342564E-05
Z	9.048195E-06	9.668653E-06	7.192346E-06	1.749186E-05	1.890980E-05	1.374791E-05
x	0.318811696	0.302729495	0.306998919	0.453341927	0.436927581	0.442121692
y	0.358315038	0.350378044	0.351744979	0.422752048	0.423241456	0.423731272
z	0.322873267	0.346892461	0.341256102	0.123906025	0.139830962	0.134147036
w	0.484052734	0.47785503	0.479148274	0.216038372	0.228750757	0.224770016
u	0.191416499	0.183498068	0.185864458	0.253039561	0.24256767	0.245605019
v	0.484052734	0.47785503	0.479148274	0.216038372	0.228750757	0.224770016
L*	95.44641741	94.41730501	84.72574822	95.89108658	94.34254107	84.63934828
u*	-9.258635717	-21.95240065	-16.3525517	-7.791289448	-17.42656333	-13.031373
v*	2.646651759	-0.143949702	0.908880655	7.27108444	-0.414529429	1.052444045

表 1 样品三刺激值及色品坐标

不同照明条件下三种样品的色品坐标的变化可以通过 Matlab 处理后在 CIE 1931 色品图上定量的表示出来，如下图所示：

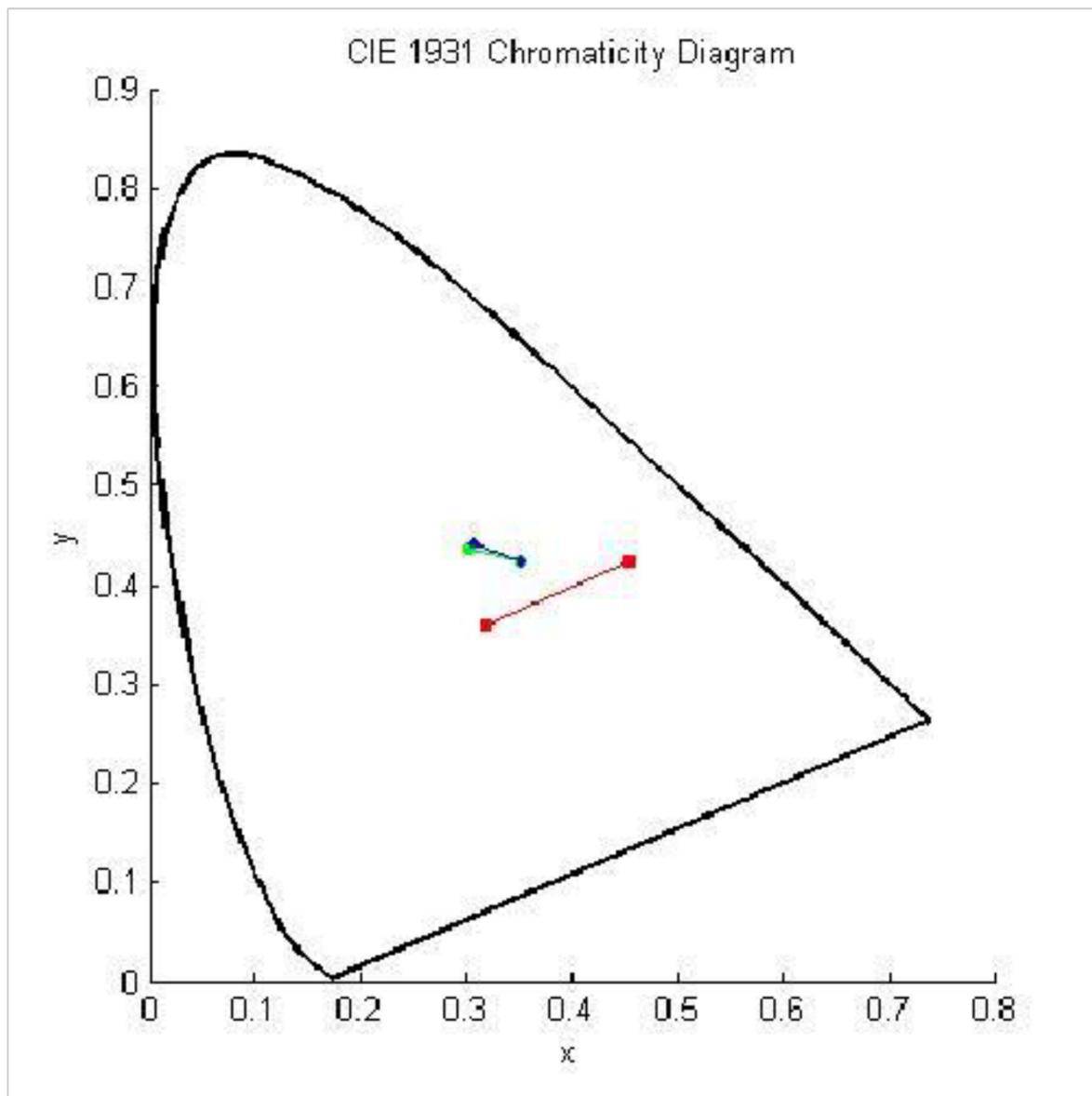


图 5 CIE 1931 色度空间中不同照明光源下样品颜色的变化情况

连线的左侧对应的红、绿、蓝点是 D371-6, D372-6, D402-6 三种样品在 D65 光源照明时的色品坐标, 而连线右侧的红、绿、蓝点则是相应样品在 A 光源照明时的色品坐标。对比彩色的 CIE 1931 色品图可以看到在 D65 光源照射时, 三个样品基本都为青绿色, 而当 A 光源对他们照明时, 他们的颜色都向色品图的黄色区域运动了, 饱和度也发生了一些变化, 其中 D371-6 样品的饱和度变化最大。

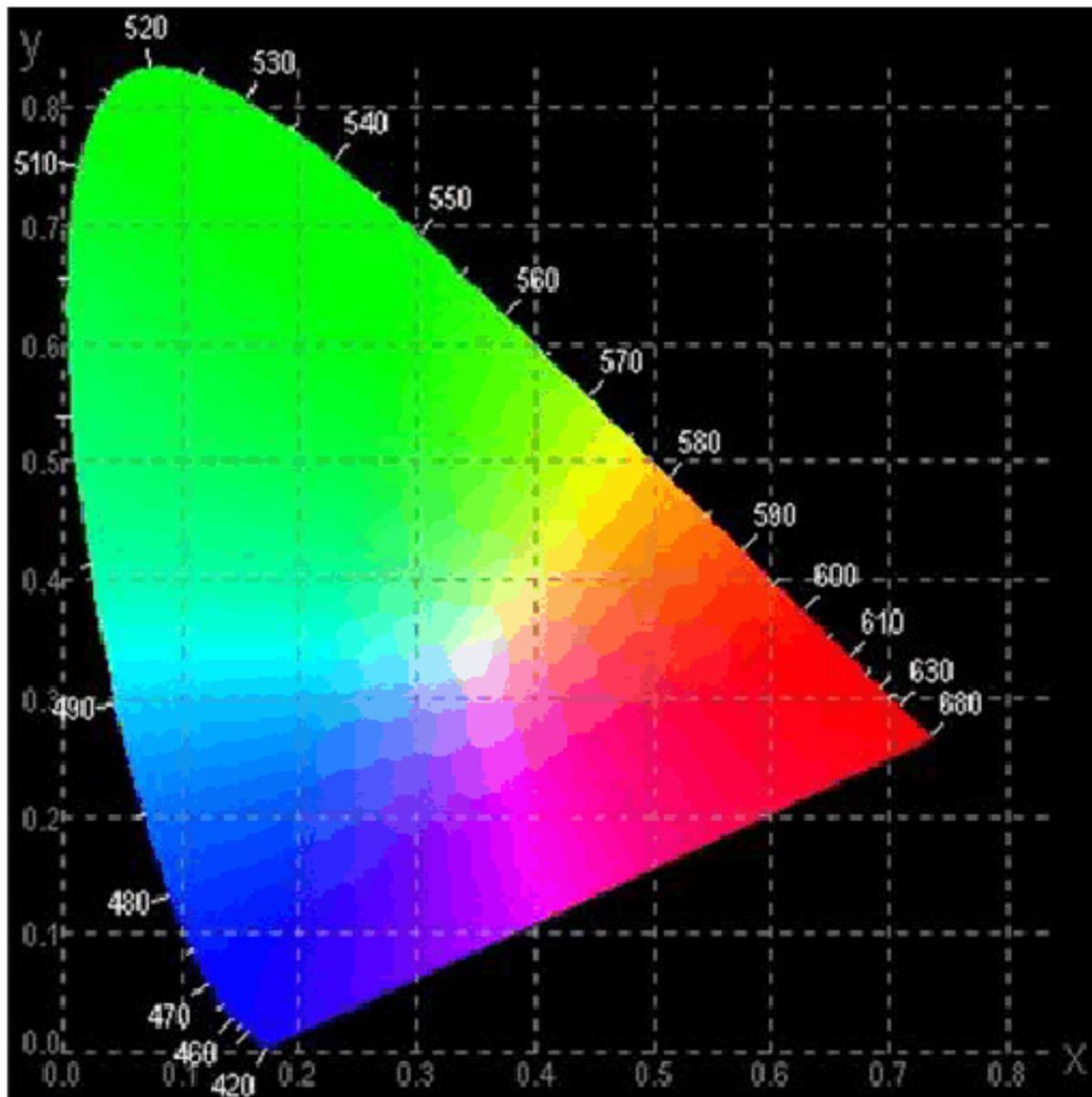


图 6 彩色 CIE 1931 色品图

C. 通过色品坐标计算出样品在不同光源照明下的色品坐标变化。

利用 B 中表 1 计算得到的 CIE 1976 $L^*u^*v^*$ 均匀颜色空间的色品坐标, 可以通过该均匀颜色空间的相应色差计算公式得到三种样品在不同光源照明下所产生的各种色差的大小:

	D371-6	D372-6	D402-6
明度差 ΔL^*	-0.44466917	0.074763937	0.086399945
彩度差 ΔC^*	1.027565621	-4.521379729	-3.303987342
饱和度差 ΔS	0.011233735	-0.04807145	-0.039193585
色调差 ΔH^*	4.741581127	0.336960245	0.366750702
总色差 ΔE^*	4.871982488	4.534534872	3.325402741

表 2 不同照明光源所产生的色差

分析以上表 2, 可以发现三种样品在 CIE 1976 $L^*u^*v^*$ 均匀颜色空间的总的颜色差异基

本相同，而且 D372-6、D402-6 两种样品的其他色差也基本一致，这反映出这两种颜色更为接近，在光源变化之后两者对人眼的感觉还基本一致。对于样品 D371-6 来说，其彩度有明显变化，变换光源后与其他两种样品的颜色差异会加大。

(3) 在 CIE 1976 $L^*u^*v^*$ 均匀颜色空间 u^*-v^* 色品图上用矢量表示由 D65 光源照明变为 A 光源照明时，样品色品坐标的变化：

将 (2) 中计算得到的 CIE 1976 u^*v^* 坐标描绘在 CIE 1976 UCS 均匀色品图上，可以从图上直观的看到颜色的变化情况：

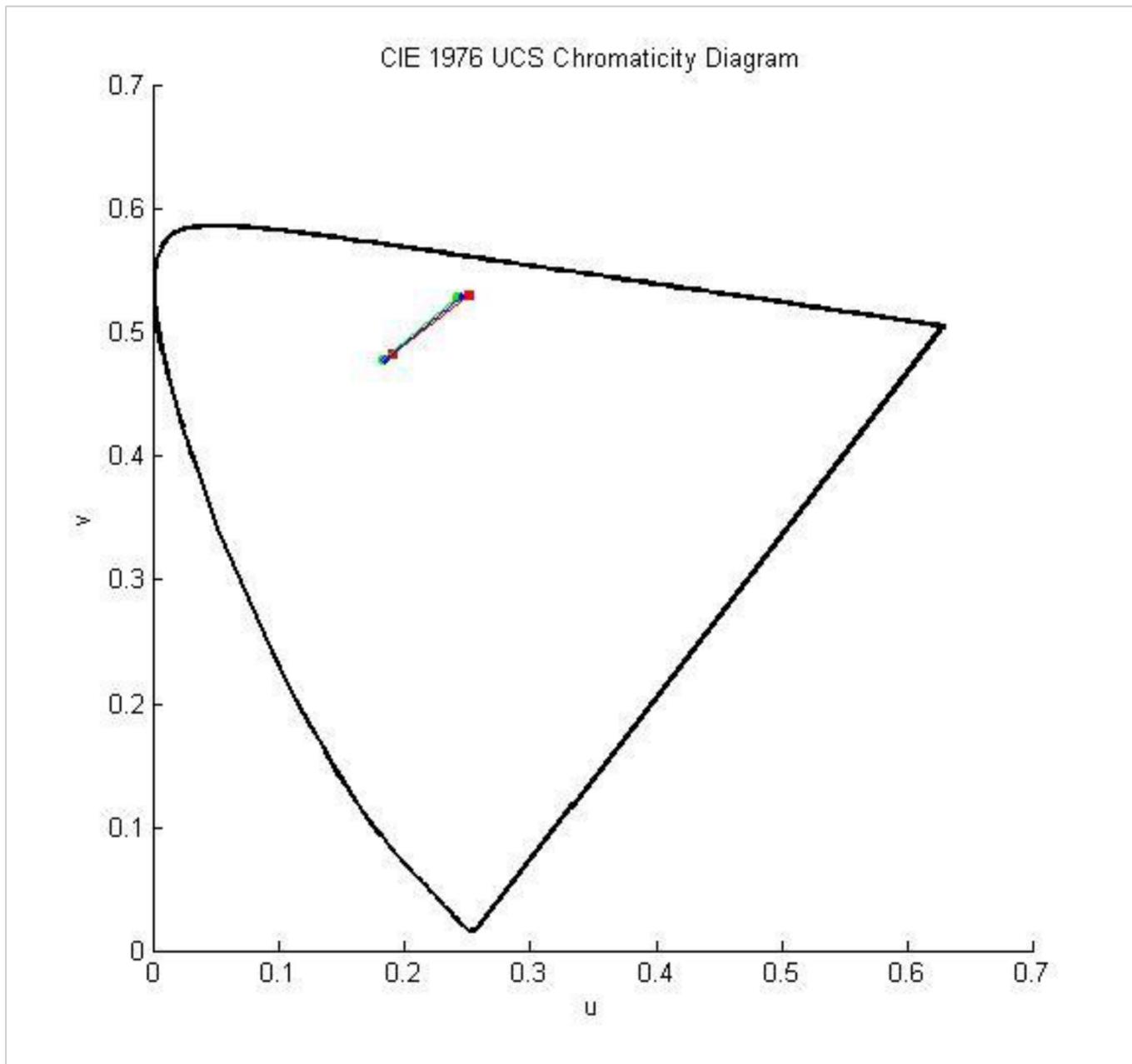


图 7 CIE 1976 UCS 均匀色空间中不同照明光源下样品颜色的变化情况

观察上图，可以发现在 CIE 1976 UCS 均匀色空间中，三种样品的色度坐标比较集中，且相较图 5 的 CIE 1931 色品图中的坐标分布，其覆盖范围明显缩小。这是因为人眼对绿色的分辨本领不是很高，在相同的 CIE 1931 色品坐标范围内，人眼能分辨出的绿色数目较少，所以在将这三种绿色样品坐标转换到 CIE 1976 均匀色空间时，其相应的绿色区域压缩，蓝色区域延伸，就造成了三个样品的色品坐标变得相对集中了。但依然明显的是，D371-6 样品的色品坐标与其他两个样品的坐标仍然相差较多，这反映出该样品与其他两个样品的颜色差异更大。

图上红、绿、蓝点依然分别代表样品 D371-6，D372-6，D402-6 的色品坐标，连线左侧的坐标是样品在 D65 光源照射下的色品坐标，而右侧则是样品在 A 光源照射下的色品坐标，可以看到，在转换到均匀色空间后，改变照明光源对三种样品颜色的改变的影响大致相同，其变化矢量基本一致。这说明在均匀色空间中，改变光源对不同颜色的影响基本相同，这比

图 5 中变化方式要容易理解的多。为了更加清晰地说明照明条件改变后样品颜色的变化情况，我们画出彩色的 CIE 1976 UCS 色品图加以对照，如下图所示：

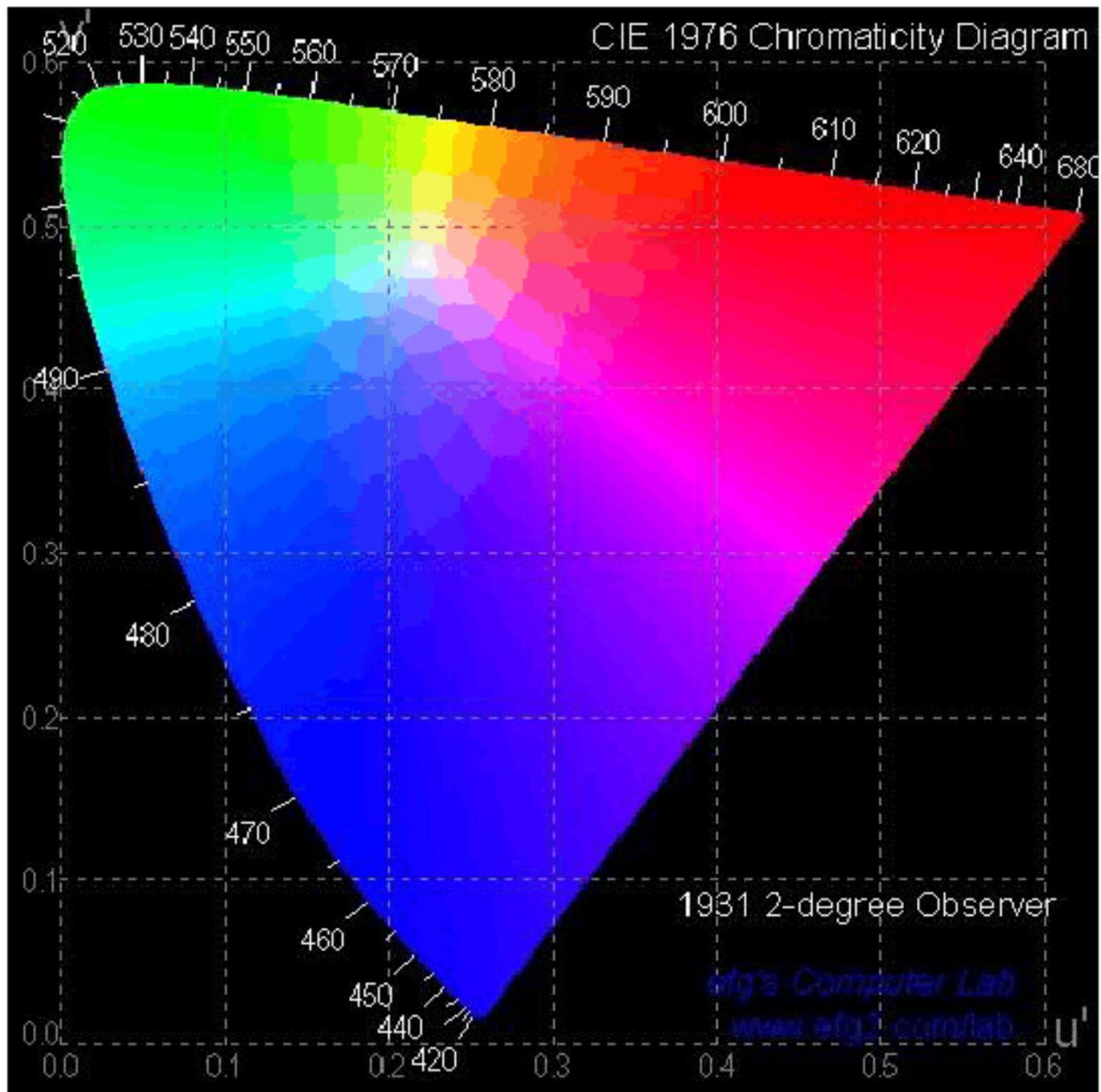


图 8 彩色 CIE 1976 UCS 色品图

对比图 7 与图 8，可以发现三个样品的色品坐标是从饱和度较低的青绿色变为饱和度较高的黄绿色，基本反映出了光源变化对颜色的影响。通过以上比较分析，可以得到以下结论：不同的照明条件会使相同的物体产生不同的颜色；不同颜色的物体在 D65 光源的照明下所表现出来的颜色基本与日光下观察的颜色一致，比较符合我们日常对物体颜色的认识，而在 A 光源照明下物体的颜色会发生改变，会向黄色区域偏移，产生一定的色偏。

实验二、颜色样品光谱反射的测量及色差计算

一、实验目的

- (1) 通过对颜色样品的测量，得到样品的光谱反射率，并计算样品的色度和色差；
- (2) 了解 Lambda19 紫外可见红外分光光度计的组成和主要性能，并掌握其使用方法。

二、实验仪器和设备

- (1) Lambda19 紫外可见近红外分光光度计；
- (2) 微型计算机及打印机；
- (3) 样品。

三、实验原理

建立在颜色匹配实验基础上的CIE标准色度系统解决了用三刺激值定量描述颜色的问题。根据格拉斯曼颜色混合定律，任何混合色的三刺激值分别等于组成该混合色的所有单色光的三刺激值之和，而单色光的三刺激值又等于进入人眼的可见光能量 $\Phi(\lambda)$ 分别与 CIE 标准色度观察者的光谱三刺激值（观察视角为 $1^\circ \sim 4^\circ$ 时，采用 $x(\lambda)$ 、 $y(\lambda)$ 、 $z(\lambda)$ ，观察视角在 $4^\circ \sim 10^\circ$ 之间，采用 $x_{10}(\lambda)$ 、 $y_{10}(\lambda)$ 、 $z_{10}(\lambda)$ ）的乘积。三刺激值的计算理论上应当对波长连续变化的单色光在可见光范围内（380nm~780nm）求积分，但是在实际测量时，往往按一定的波长间隔 $\Delta\lambda$ 采集有限个测量数据。所以，在实际计算三刺激值时，用以下求和来近似积分：

$$\begin{aligned} X &= k \sum (\) x(\) & X_{10} &= k_{10} \sum (\) x_{10}(\) \\ Y &= k \sum (\) y(\) & Y_{10} &= k_{10} \sum (\) y_{10}(\) & (1) \quad \text{或} & Y_{10} &= k_{10} \sum (\) y_{10}(\) & (2) \\ Z &= k \sum (\) z(\) & Z_{10} &= k_{10} \sum (\) z_{10}(\) \end{aligned}$$

当被测样品是非自发光体，且为不透明时，式中的 $\Phi(\lambda)$ 为

$$(\) (\) S(\) \quad (3)$$

或 $(\) (\) S(\) \quad (4)$

式中 $S(\lambda)$ 为照明光源的相对光谱功率分布，一般采用 CIE 标准照明体； $(\)$ 为物体的光谱辐亮度因数， $(\)$ 为物体的光谱反射比。

本实验采用 Lambda19 分光光度计在 $8^\circ : di$ 和 $8^\circ : de$ 的条件下，测量不透明非自发光的颜色样品的相对光谱反射比 $(\)$ 。测出两个样品的 $(\)_1$ 和 $(\)_2$ 后，用 (4) 式分

别计算出 $(\)_1$ 和 $(\)_2$ 。假定被测样品主要在中等日光下观察，视角为 $4^\circ \sim 10^\circ$ 之间，因此 $S(\)$ 选用 CIE 标准照明体 D65，三刺激值用 (2) 式计算，归化系数 k_{10} 用把所选照明体的 Y 值调整到 100 的方法求得：

$$k_{10} = \frac{100}{S(\lambda)y_{10}(\lambda)} \quad (5)$$

由于相等的三刺激值差不能代表相同的色觉差，所以计算得到的样品的三刺激值差要转换到均匀颜色空间中去计算色差。对于表面色样品，一般采用 CIE 1976 L*a*b*均匀颜色空间的色差公式计算色差。

四、实验方法及步骤

- (1) 打开 Lambda19 紫外可见近红外分光光度计电源预热；
- (2) 打开计算机，进入 UVCSS 测量软件；
- (3) 键入 SCAN，进入测量条件选择状态（选择波长范围，测量方式及建立文件名称等）；
- (4) 进入测量状态：先进行标定（选择 A），然后打开测量室，放入样品，在进行测量；
- (5) 数据的显示及打印：键入 LIST命令，显示测量数据。按下计算机的 PRINT 键，打印测量数据。

五、实验结果及分析

分别计算出这三个样品在 CIE D65标准照明体下 10° 视场标准观察者的

- (1) 三刺激值 X, Y, Z 和色品坐标 x, y, z；

根据实验原理，可以通过样品的光谱反射因数数据（详见附表三）和 D65 光源的光谱辐射功率（附表三）以及 CIE 1964标准色度观察者光谱三刺激值（附表四），可以计算出样品的三刺激值。

其中，CIE 标准光源 D65 的光谱辐射功率分布如下图所示：

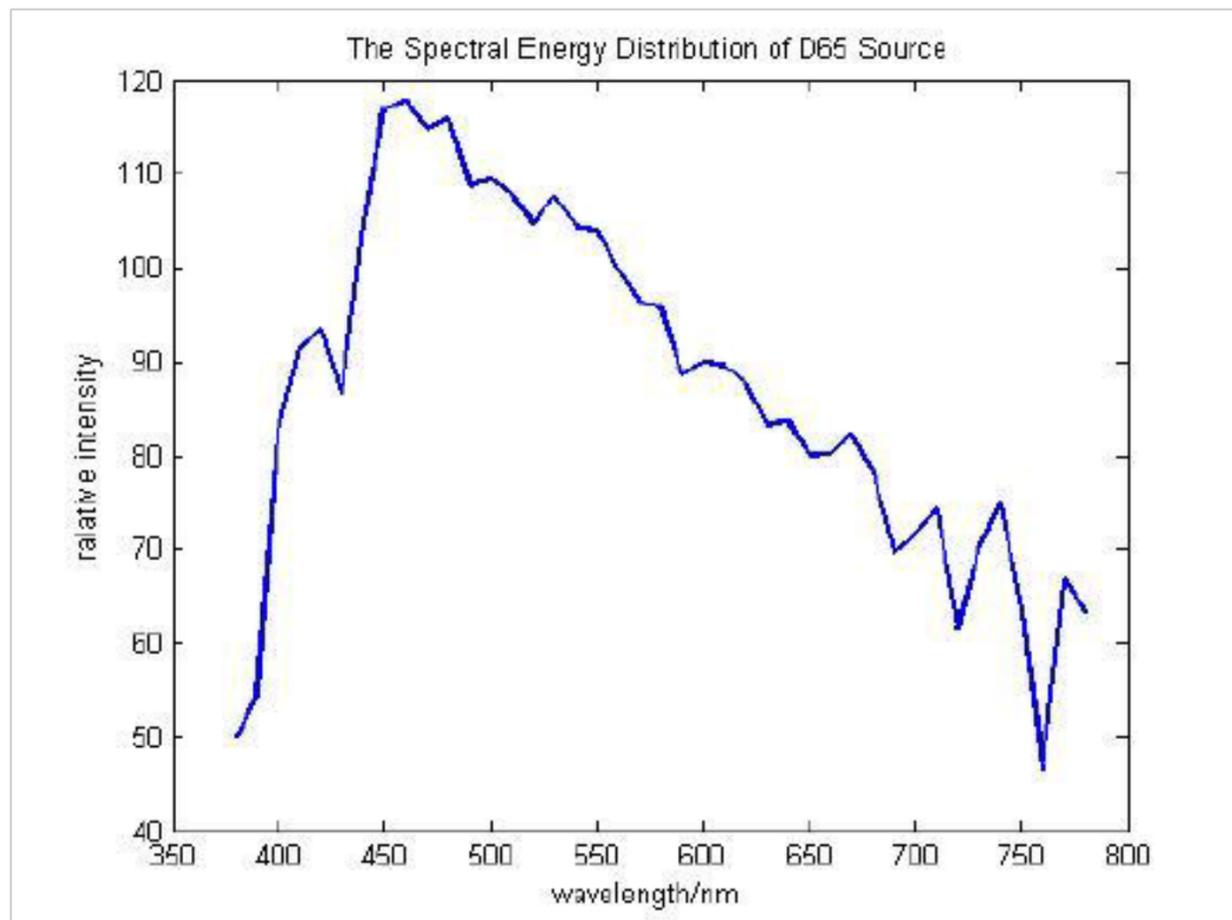


图 1 CIE D65光源的光谱辐射功率分布

经过 Lambda19 分光光度计测得的三种样品的光谱反射因数如下图 2 所示：

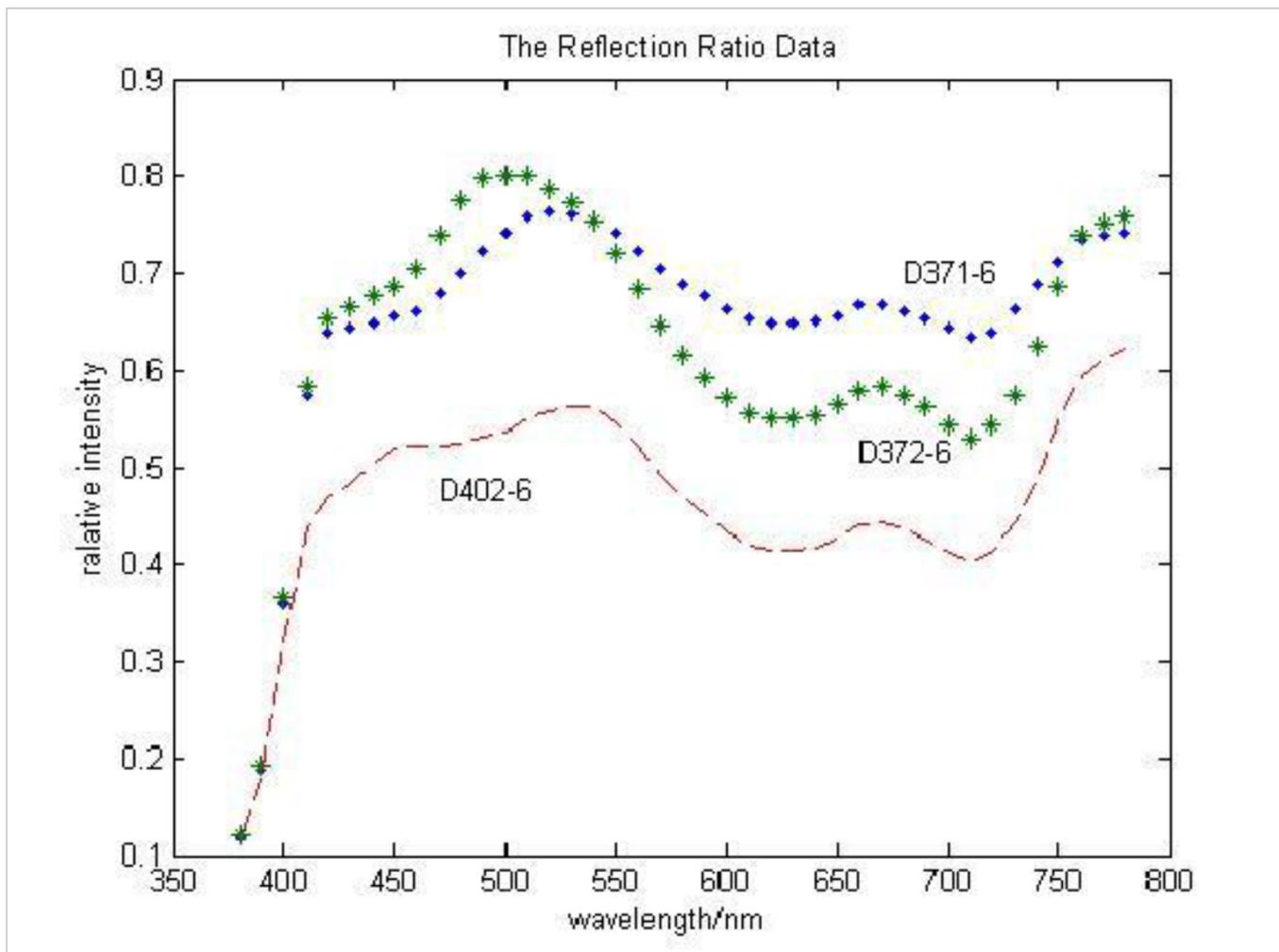


图 2 样品的光谱反射因数

已知上述数据，代入公式 (2)、(4)、(5) 中，即可得到三种样品的三刺激值及相应的色品坐标：

	D371-6	D372-6	D402-6
X	64.39954021	59.6759161	44.80413879
Y	71.37182332	69.17092084	50.80306904
Z	70.92105369	75.0768917	54.56625375
x	0.311571857	0.292638412	0.298349244
y	0.345304507	0.339199961	0.338295918
z	0.343123636	0.368161627	0.363354838

表 1 样品的 CIE 1964 三刺激值及色品坐标

可以将上表数据与实验一中计算得到的三种样品的 CIE 1931 色品坐标进行对比，发现相应样品的色品坐标略有差别，说明在观察视场角改变时，会使相同物体的色品坐标发生些许改变。

(2) 在 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 均匀颜色空间中的 L^* , a^* , b^* , C_{ab}^* , h_{ab}^* ;

将(1)中计算得到的 x, y, z 坐标代入书中的 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 色度空间坐标公式(2-64)中，得到相应的色品坐标：

	D371-6	D372-6	D402-6
L^*	87.6653424	86.58861697	76.55956514
a^*	-7.335635854	-13.71409358	-9.528537153
b^*	4.560987245	-0.633122537	-0.013075366

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/265132343033012002>