


颜色特征的 提取及其应用



颜色是自然界中一种常见的物理现象，是人的颜色视觉细胞对外界光刺激的感应。可以说，颜色对我们来说是一种既熟悉又陌生的感受。我们比较熟悉用**概念化表示的颜色**，而对用**数字来表示的颜色**，对我们大多数的人来说是陌生的，但这却是计算机图像处理中的一个重要部分。

本章从生物生产中颜色利用的实际价值出发，描述如何得到和使用数字图像的颜色信息，从颜色的特性、模拟人的视觉感受的角度，介绍几种图像处理中常用的颜色系统，并阐述这些系统在图像处理应用中的各自特点。

一、自然界中的颜色与光谱

（一）自然界中颜色存在的两种表现：

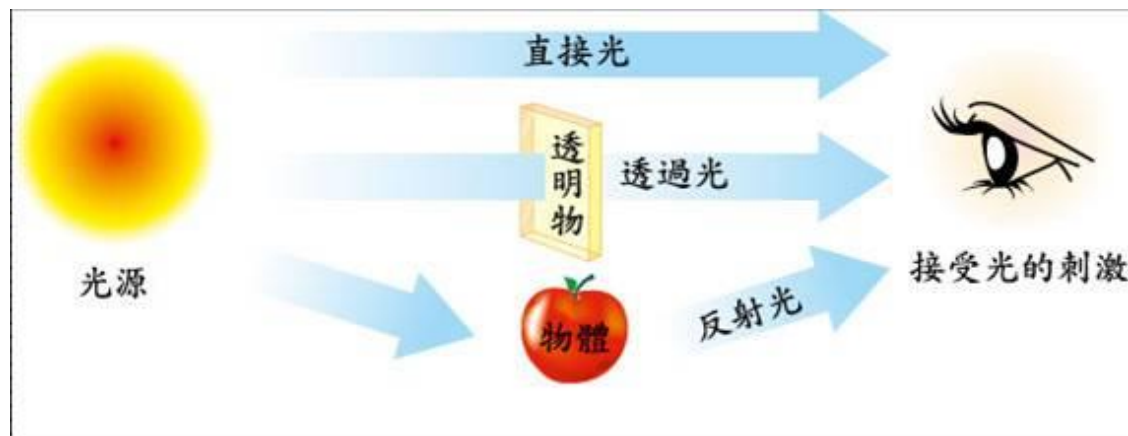
- 1、有颜色的光（色光）；
- 2、物体因光照而呈现的颜色（表面色）。

一、最常见的色光：

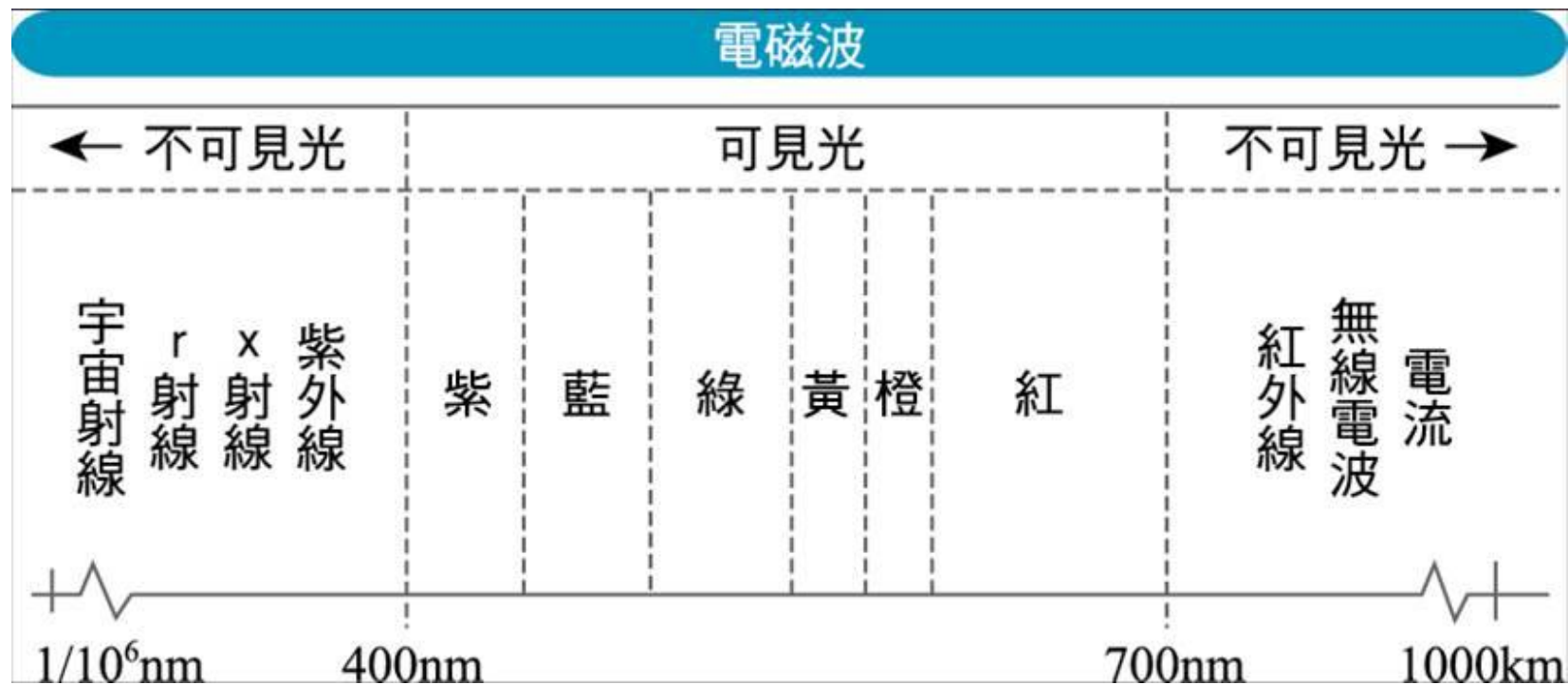
- 太阳光：——→系列单一波长的光（单色光）或可见光
(分解)


物体的吸
收与反射

物体表面的颜色。



電磁波



色彩（色光）		色光的波長分布領域	
紅	Red	 （由紅色至紫色的漸層色帶）	(700) 610～700 nm
橙	Orange		(610) 590～610 nm
黃	Yellow		(575) 570～590 nm
綠	Green		(525) 500～570 nm
藍	Blue		(470) 450～500 nm
紫	Violet		(415) 400～450 nm

（ ）中之數值為色彩的中段波長

（二）表面色：

物体表面的自然色是由太阳辐射引起的。

- 1、**光源**是描述物体表面色时的主要因素，物体的颜色不是固定不变的，会随着光源的改变而发生变化。
- 2、人们往往利用上述物体表面色产生的原理，当没有阳光或光线不足时，根据太阳的光谱制造人造光源，来保持物体固有的自然色。或变化光源来达到改变物体的表面色。



二、 农业物料的特征及其利用

1、 原理：

绝大多数的农业物料是在自然条件下生长的，它们的叶、茎、秆、果实等在阳光的抚育下，形成了各自的表面色，但这些颜色受到辐照、营养、水分、生长环境、病虫害、损伤、成熟度等因素的影响，会形成具有一定特征的颜色，因此，人们可以通过农业物料固有的颜色变化，来认识农业物料，并评价它们的品质。



2、具体实例：

（1）稻麦生长情况的评价：

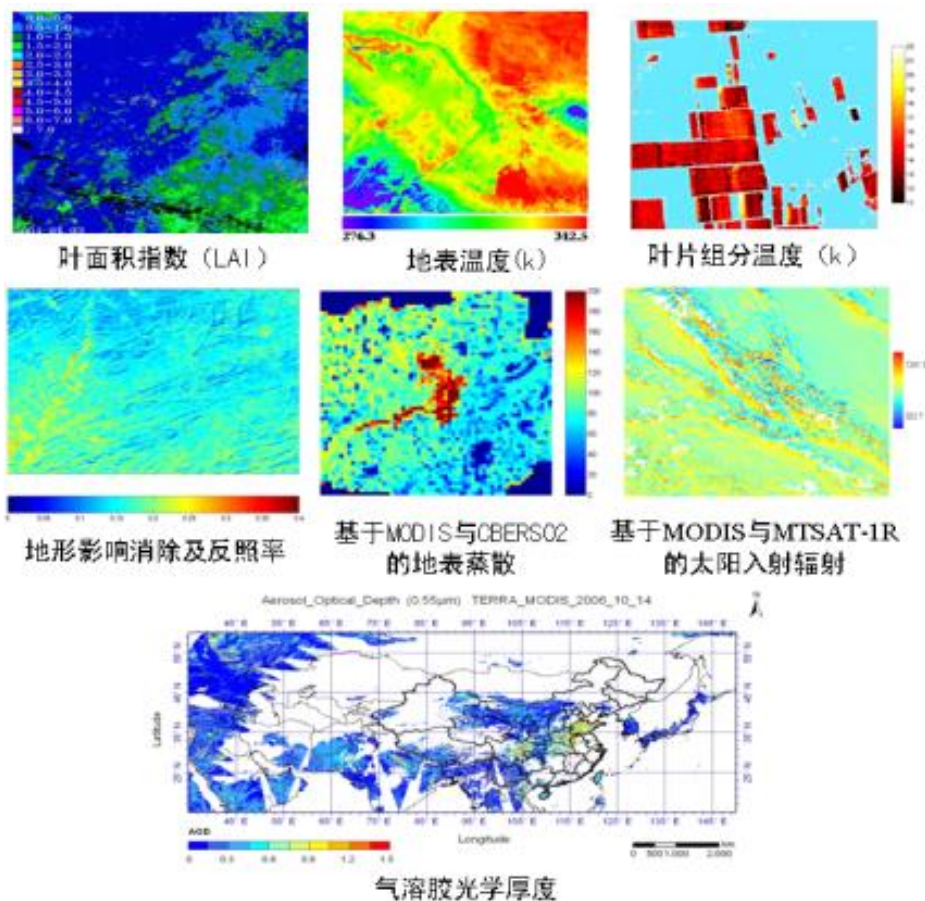
- 生长良好的未成熟稻麦是绿色的；
- 当缺乏营养或发生干旱时，植株从叶梢开始慢慢发黄；
- 因而黄色面积和绿色面积的区分与计算比值，就可以成为定量评价稻麦生长情况的一个田间管理指标。

（2）果实成熟度评价：

- 果实在成熟的过程中，表面的叶绿素得到分解并消失，未成熟前原来被叶绿素遮盖的类胡萝卜素开始呈现出来。人们就可以利用成熟果实的色泽判断其成熟度。如水果采摘机器人，可以从未成熟的果实中或果树的枝叶里找出成熟的果实，并进行采摘。

(3) 遥感技术:

- 可以根据遥感图像，对农业资源进行探测，利用色泽差别计算出土地、植被、湖泊、沙漠等的面积及其变迁等。



三、计算机颜色的描述系统

（一）颜色的分类和特性：

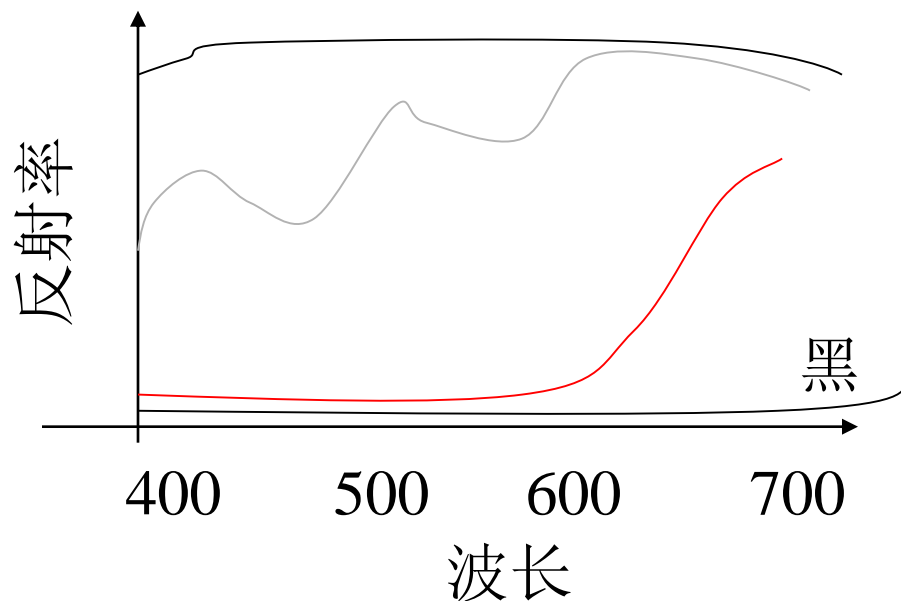
1、非彩色：

指白色、黑色和各种深浅不同的灰色组成的纯白到浅灰、中灰、深灰直至纯黑色的颜色系列。

➤特性：光源用亮度来形容，而表面色用明度来形容。

➤物体表面颜色的形成：

由物体表面对可见光谱
的反射率的不同来确定。



2、彩色

➤特性:

表面色-----明度、色调、饱和度或彩度

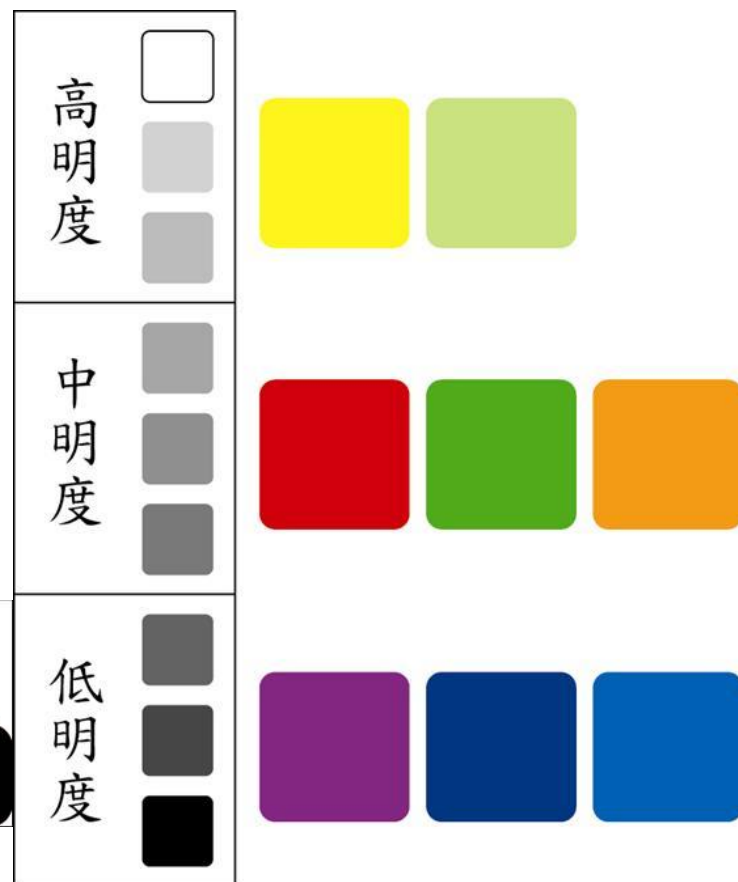
色 光-----亮度、色调、饱和度

(1) 明度或亮度:

是一个能量的量度，如物体表面反射的能量愈高，物体的明度愈高；



同种色彩的不同明暗



不同的色彩，有不同的明暗

(2) 色调(色相):

- A、是彩色相互区分的特性;
- B、色光的色调取决于其光谱的组成对人眼作用所产生的结果;
- C、物体的色调除了取决于光源的光谱组成外, 还取决于物体表面对光源光谱的反射率的能量分布。



紅



橙



黃



綠



藍



紫

(3) 饱和度或彩度:

- A. 指某种彩色与对应色调的单色光接近的程度，即彩色的纯洁度；
- B. 物体表面色的饱和度取决于其表面的光谱反射率对某种单色波长的选择性；
- C. 选择性由反射率形成的波峰高度一半处的半峰宽度来决定，宽度愈小，其选择性愈好，饱和度愈高。



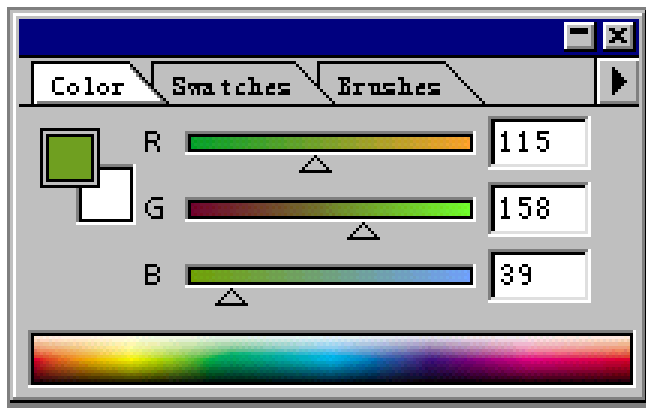
（二）三基色学说和颜色混加原理：

1、颜色的改变：

可以通过不同颜色光混合，不同颜料的混合或是在混色中减去某种成分的颜色得以实现。

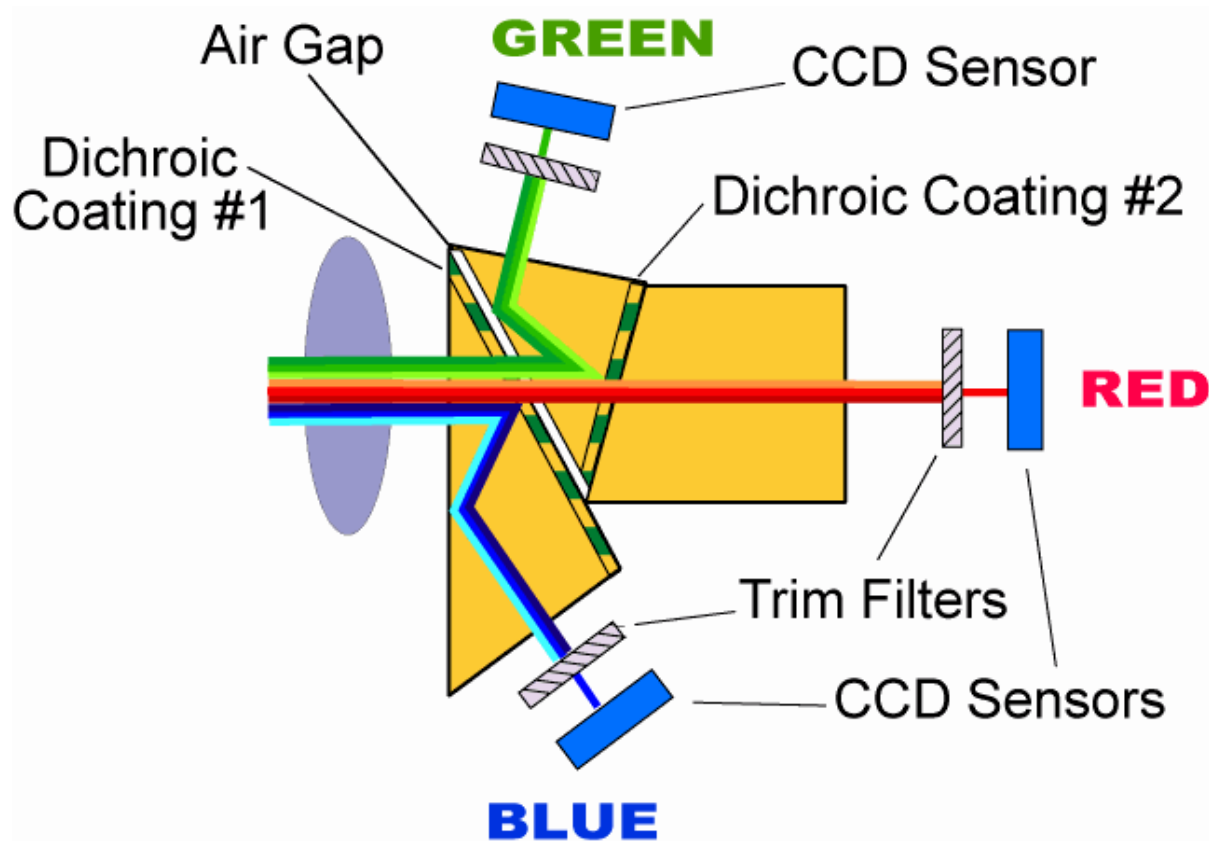
2、三基色学说：

- （1）3种不同波长的光谱色或色饱和的颜料，能够混合出其他各种饱和色、中间色、混合色。
- （2）如：视觉上能够感受到的任何颜色，都能以红、绿、蓝作为3种基色，通过改变各自的数量，混合得出。
- （3）根据红、绿、蓝三基色得出的颜色系统称为混加系统。



（三）图像彩色的获得：

- 1、利用三基色原理；
- 2、过程：景物的彩色经过分解、数据转换、彩色合成3个过程获得。



（四）彩色图像的显示方式：

1、伪彩色：

由计算机选择彩色，确定颜色与灰度的关系，把原灰度图像进行计算机着色完成。

2、真彩色：

3、假彩色：

指合成三基色时改变三基色的正常比例，达到改变原有图像的彩色。

为什么有些水果在水果摊上要好看一些？

（五）CIE颜色表示系统：

1、RGB系统（CIE—国际照明委员会）

CIE: Commission Internationale de L'Eclairage, 国际照明委员会

三原色: 1931年, 国际照明委员会(CIE)规定用波长为700、546.1和435.8nm的单色光作为红(Red)、绿(Green)和蓝(Blue)三原色。

任意彩色的颜色方程为:

$$F = \alpha(R) + \beta(G) + \gamma(B)$$

$$\alpha, \beta, \gamma \geq 0$$

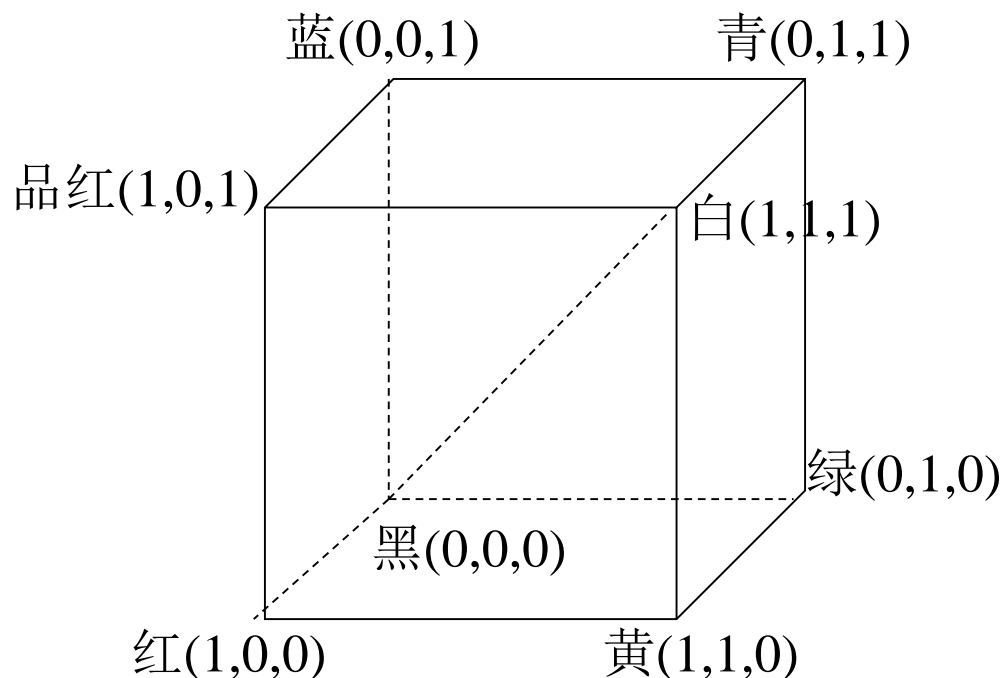
α 、 β 、 γ 是红、绿、蓝三色的混合比例, 一般称为三色系数。

所谓**颜色模型**指的是某个三维颜色空间中的一个可见光子集。它包含某个色彩域的所有色彩。任何一个色彩域都只是可见光的子集, 任何一个颜色模型都无法包含所有的可见光。

（五）CIE颜色表示系统：

1、RGB系统（CIE—国际照明委员会）

（1）指所有的颜色，包括黑白系列的各种灰色，各种色调与饱和度的彩色，都可以用红、绿、蓝三种原色混合、匹配产生的一个色度学系统。



在正方体的主对角线上，各原色的量相等，产生由暗到亮的白色，即灰度

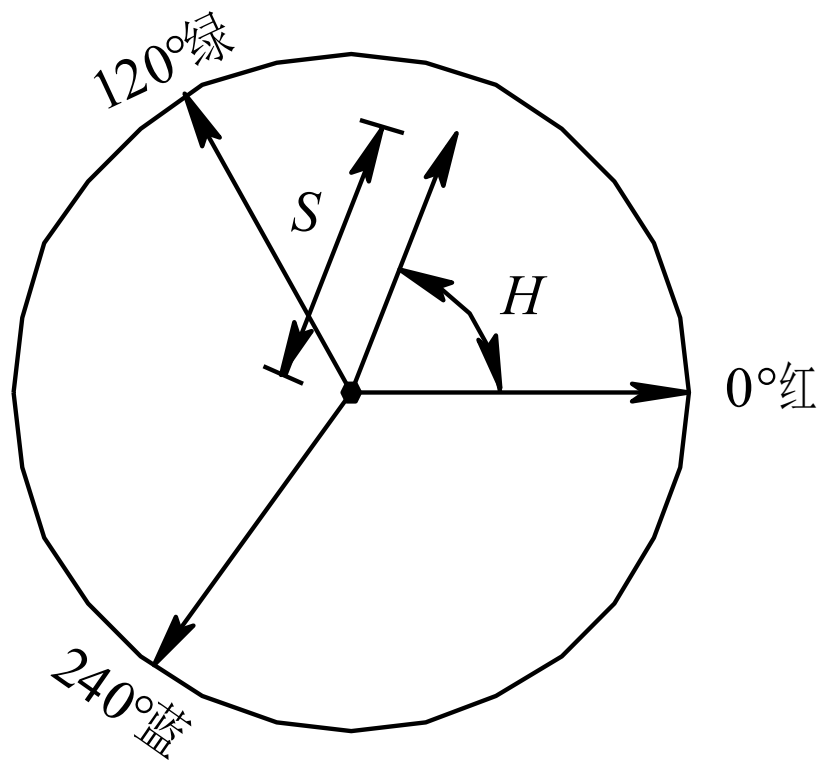
(2) 优点:

使用RGB色度学系统标定颜色的优点是直接采用与硬件相同的颜色系统，因而所采集的图像数据，无需经过颜色系统间的变换，可直接作为图像处理的原始数据。

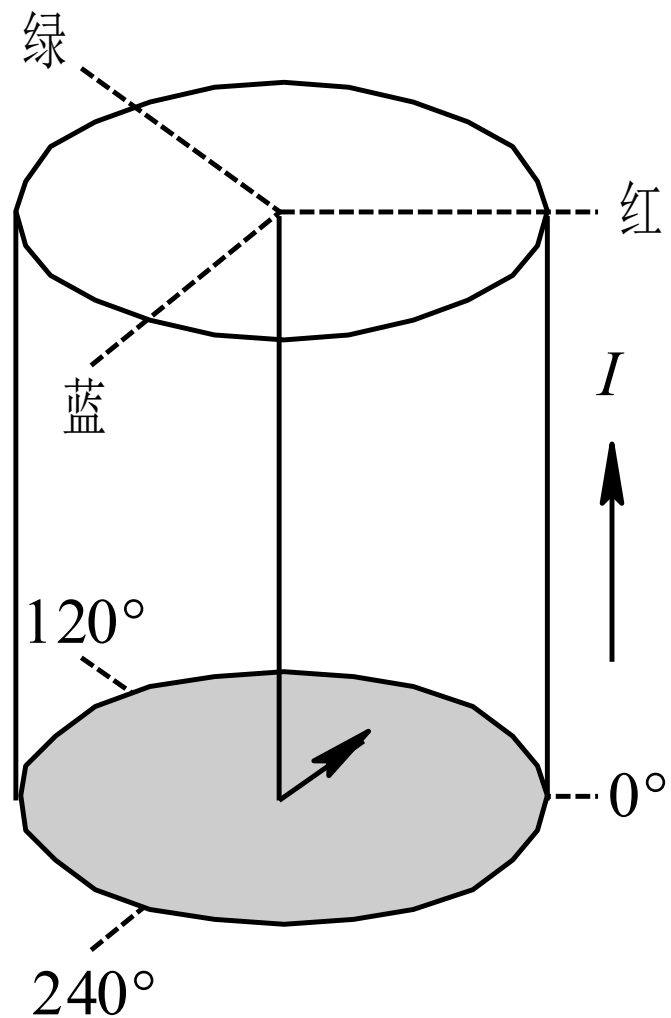
2、HIS系统：

HSI模型是Munseu提出的，它反映了人的视觉系统观察彩色的方式，在艺术上经常使用HSI模型。HSI模型中，H表示色调(Hue)，S表示饱和度(Saturation)，I表示亮度(Intensity，对应成像亮度和图像灰度)。这个模型的建立基于两个重要的事实：

- ① I分量与图像的彩色信息无关；
- ② H和S分量与人感受颜色的方式是紧密相联的。这些特点使得HSI模型非常适合借助人的视觉系统来感知彩色特性的图像处理算法。



色相环



柱形彩色空间

- **色相环**描述了色相和饱和度两个参数。
- **色相**用角度表示，它反映了该彩色最接近什么样的光谱波长。一般用 0° 表示红色， 120° 表示绿色， 240° 表示蓝色。 $0-240^\circ$ 的色相覆盖了所有可见光谱的彩色，在 $240-300^\circ$ 之间为人眼可见的非光谱色（紫色）。
- **饱和度**是指一个颜色的鲜明程度，饱和度越高，颜色越深，如深红，深绿。饱和度参数是色环的原点(圆心)到彩色点的径向长度。由色相环可以看出，环的边界上纯色或饱和的颜色，其饱和度值为1。中心点处为中性(灰色)阴影，饱和度为0。
- **亮度**是指光波作用于感受器所发生的效应，其大小由物体反射系数来决定，反射系数越大，物体的亮度愈大，反之愈小。
- **HSI模型**的三个属性定义了一个三维柱形空间。灰度阴影沿着轴线从底部的黑变到顶部的白，具有最高亮度。最大饱和度的颜色位于圆柱上顶面的圆周上。

1)、HSI模型与RGB的转换:

$$I = \frac{R + G + B}{3}$$

$$\begin{cases} H = W & B \leq G \\ H = 2\pi - W & B > G \end{cases} \quad W = \cos^{-1} \left\{ \frac{2R - G - B}{2[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\}$$

$$S = 1 - \frac{3 \min(R, G, B)}{R + G + B}$$

当 $S=0$ 时对应的是无色彩的中心点，这时 H 就没有意义，此时定义 $H=0$ 。当 $I=0$ 时， S 也没有意义。

2) HSI转换到RGB

假设S、I的值在[0, 1]之间，R、G、B的值也在[0, 1]之间，则HSI转换为RGB的公式为

当 $0^\circ \leq H \leq 120^\circ$ 时 当 $120^\circ \leq H \leq 240^\circ$ 时 当 $240^\circ \leq H < 360^\circ$ 时

$$R = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad G = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{S \cos(H - 120^\circ)}{\cos(180^\circ - H)} \right] \quad B = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{S \cos(H - 240^\circ)}{\cos(300^\circ - H)} \right]$$

$$B = \frac{I}{\sqrt{3}} (1 - S)$$

$$R = \frac{I}{\sqrt{3}} (1 - S)$$

$$G = \frac{I}{\sqrt{3}} (1 - S)$$

$$G = \sqrt{3}I - R - B$$

$$B = \sqrt{3}I - R - G$$

$$R = \sqrt{3}I - G - B$$

3. CMYK表色系统

CMYK表色系统也是一种常用的表示颜色的方式。计算机屏幕显示通常用RGB表色系统，它是通过相加来产生其他颜色，这种做法通常称为**加色合成法**(Additive Color Synthesis)。而在印刷工业上则通常用CMYK表色系统，它是通过颜色相减来产生其他颜色的，所以称这种方式为**减色合成法**(Subtractive Color Synthesis)。

CMYK模式的原色为青色(Cyan)、品红色(Magenta)、黄色(Yellow)和黑色(Black)。在处理图像时，一般不用CMYK模式，主要是因为这种模式的文件大，占用的磁盘空间和内存大。这种模式一般在**印刷**时使用。

4. YUV色彩系统:

YUV彩色电视信号传输时，将R、G、B改组成亮度信号和色度信号。PAL制式将R、G、B三色信号改组成Y、U、V信号，其中Y信号表示亮度，U、V信号是色差信号。

RGB色彩系统与YUV色彩系统的对应关系:

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.148 & -0.289 & 0.437 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1.140 \\ 1 & -0.395 & -0.581 \\ 1 & 2.032 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix}$$

YUV主要用于优化彩色视频信号的传输，使其向后兼容老式黑白电视

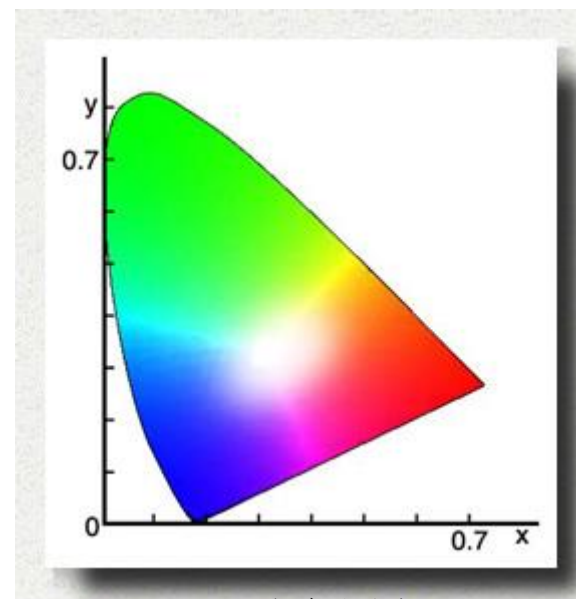
5. CIE XYZ

XYZ三刺激值的概念是以色视觉的三元理论为根据的，它说明人眼具有接受三原色(红、绿、蓝)的接受器，而所有的颜色均被视作该三原色的混合色。1931年CIE制定了一种假想的标准观察者，配色函数

$$\overline{x(\lambda)}, \quad \overline{y(\lambda)}, \quad \overline{z(\lambda)}$$

XYZ三刺激值是利用这些标准观察者配色函数计算得来的。

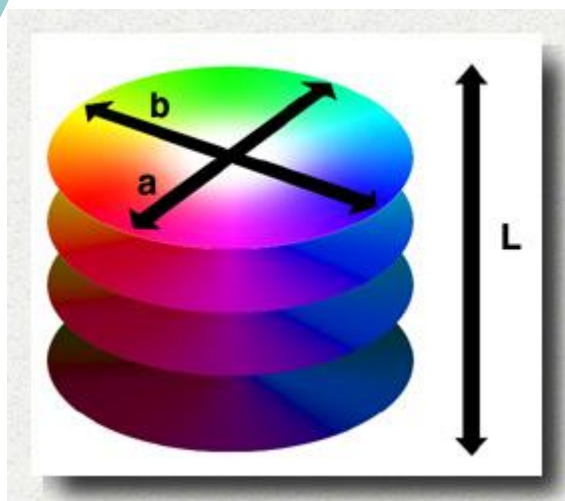
在此基础上，CIE于1931年规定了 Y_{xy} 颜色空间，其中Y为亮度， x, y 是从三刺激值XYZ计算得来的色坐标。它代表人类可见的颜色范围。



CIE彩色图表

6. L*a*b*表色系

- L*a*b*颜色模型是CIE于1976年推荐的设计成符合孟塞尔彩色系统的表色系。Lab 颜色由亮度或光亮度分量L和a、b两个色度分量组成，a为正值时，值越大表示越红，为负数时，值越大表示越绿；b为正值时，值越大表示越黄，为负数时，值越大表示越蓝。
- Lab颜色与设备无关，无论使用何种设备(如显示器、打印机)创建或输出图像，这种模型都能生成一致的颜色。



L*a*b* 的概念图

L: 明亮度

a: 从绿色到红色

b: 从蓝色到黄色

色差程度的鉴定 ΔE^*ab	
微量	0-0.5
轻微	0.5-1.5
能感觉到	1.5-3.0
明显	3.0-6.0
很大	6.0-12.0
截然不同	12.0以上

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad M = \begin{cases} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{cases}$$

$$\begin{cases} L = 116f\left(\frac{Y}{Y_0}\right) - 16 \\ a = 500 \left[f\left(\frac{X}{X_0}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_0}\right) \right] \\ b = 500 \left[f\left(\frac{Y}{Y_0}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \right] \end{cases}$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & \text{if } t > \left(\frac{6}{29}\right)^{1/3} \\ \frac{1}{3}\left(\frac{29}{6}\right)^2 t + \frac{4}{29} & \text{otherwise} \end{cases}$$

式中 X_0 、 Y_0 、 Z_0 为标准白色对应的 X 、 Y 、 Z 值。

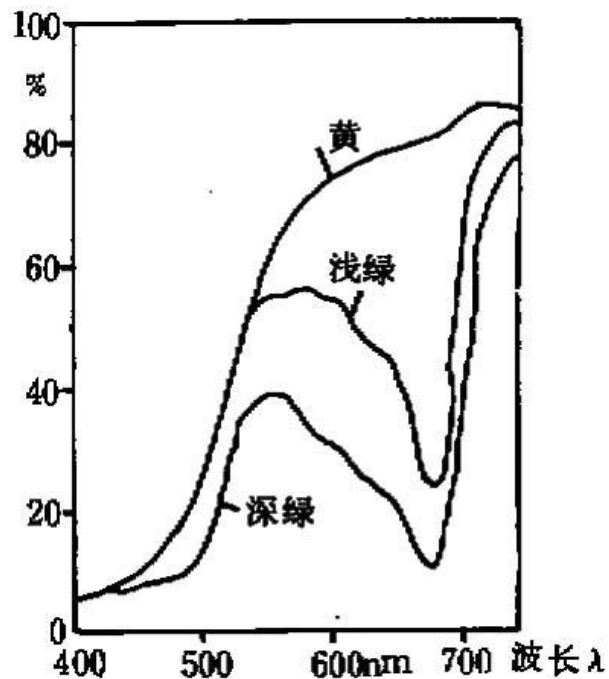
四、图像颜色特征的提取

1、应用：

在背景或多类景物中识别一类景物，如区分蕃茄的果实和柄；在绿叶中找成熟的果实；杂草的识别等。

2、方法：

识别工作只需利用分解的三基色的原始数据作为运算因子，来区分场景中的景物。



不同成熟度柠檬的分光反射特性



4.1 基于颜色的水果图像分割

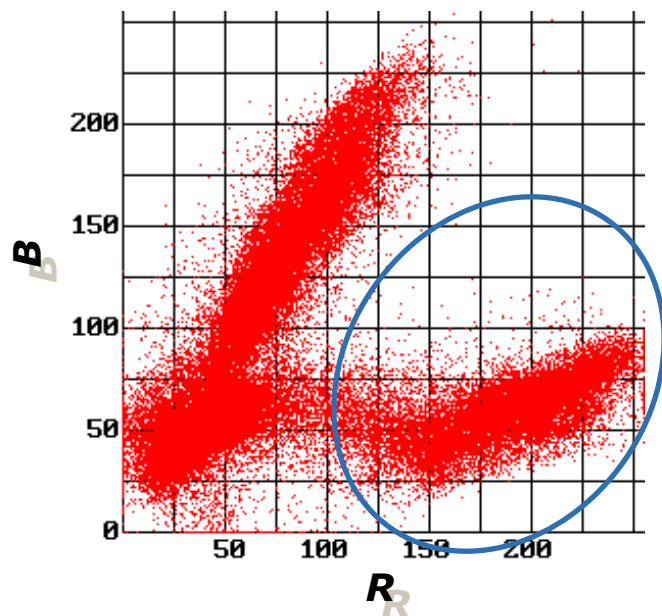




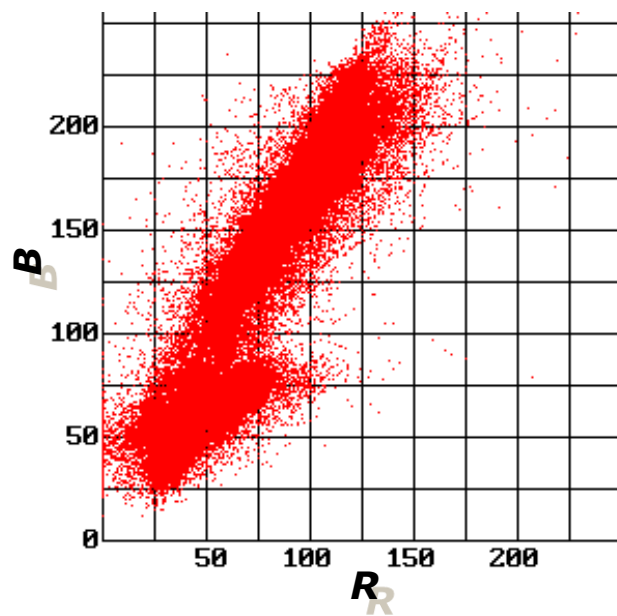
4.1 基于颜色的水果图像分割

R-B对照

含有水果的图像



背景



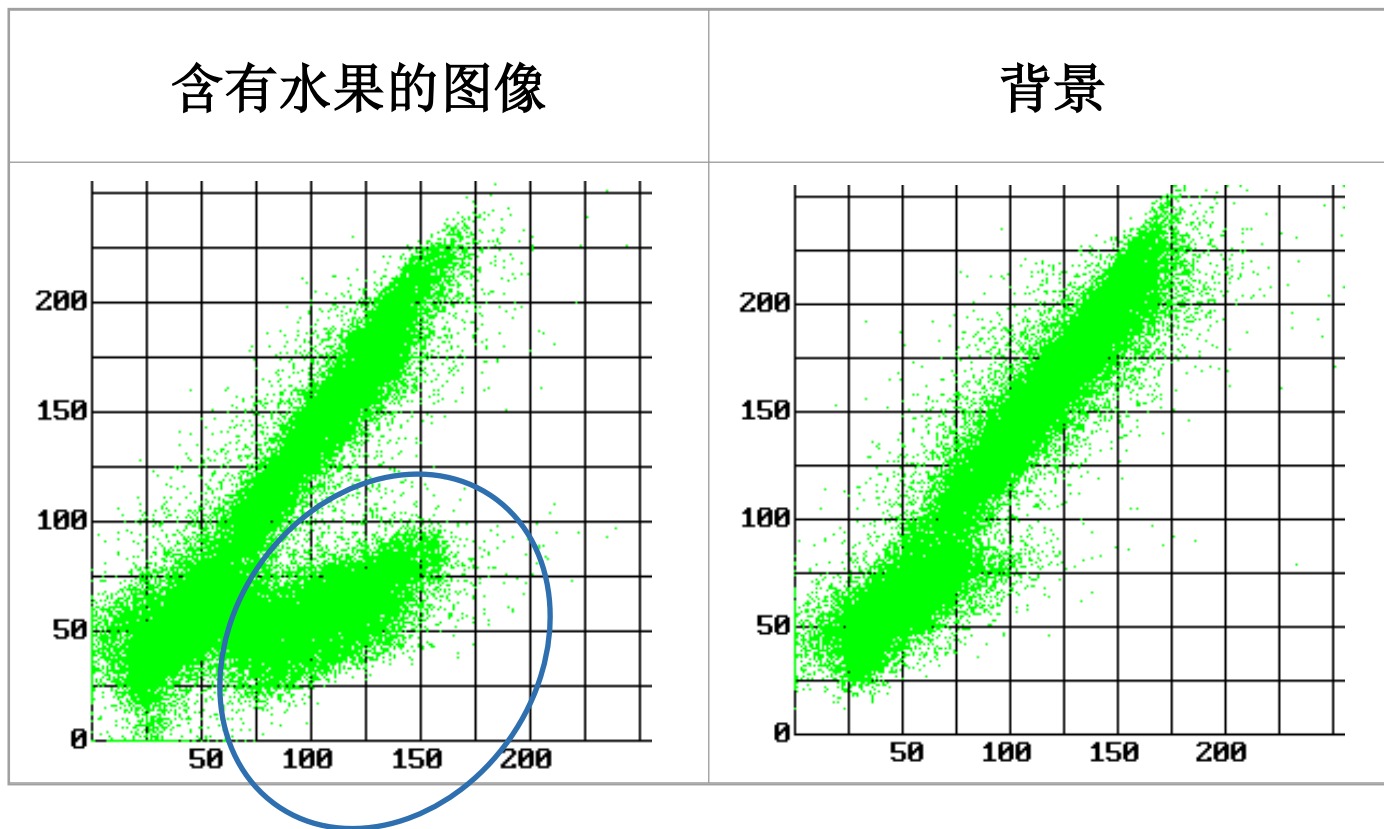
从表中可以看出，水果图像的R、B值满足下式：

$$\begin{cases} R > 100 \\ B < 100 \end{cases}$$



4.1 基于颜色的水果图像分割

G-B对照



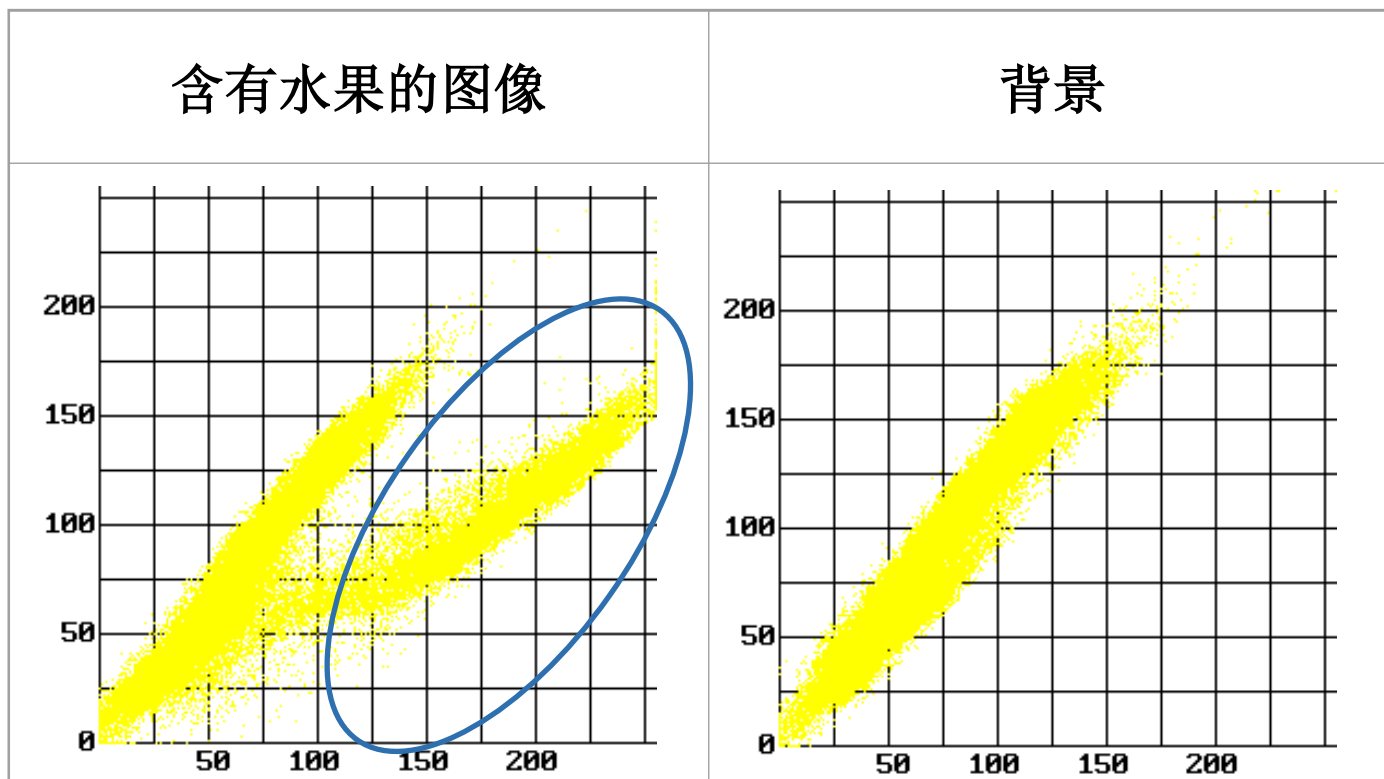
从表中可以看出，水果图像的G-B值满足下式：

$$B < 0.97G - 29$$



4.1 基于颜色的水果图像分割

R-G对照



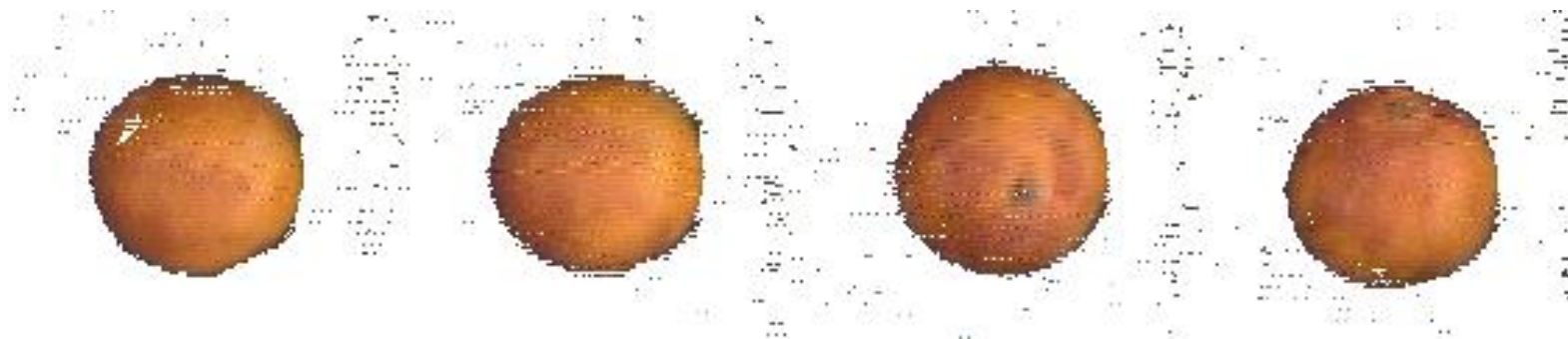
从表中可以看出，水果图像的R、G值满足下式：

$$G < 1.125R - 34$$



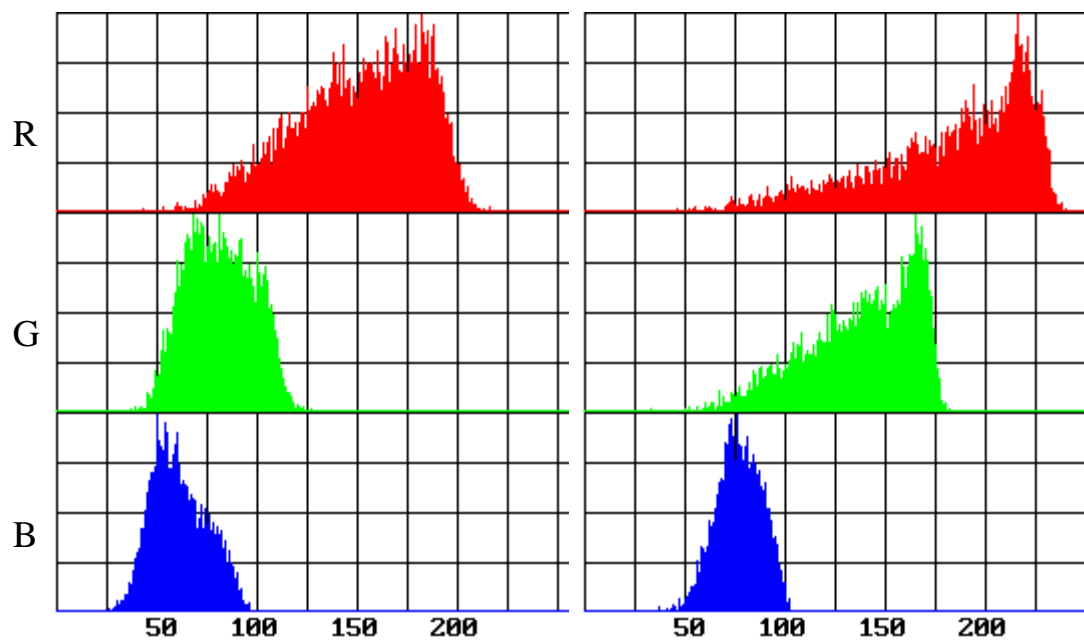
4.1 基于颜色的水果图像分割

利用R-B、G-B、R-G的相互关系来看，背景与水果之间有区别，
可用于图像分割。



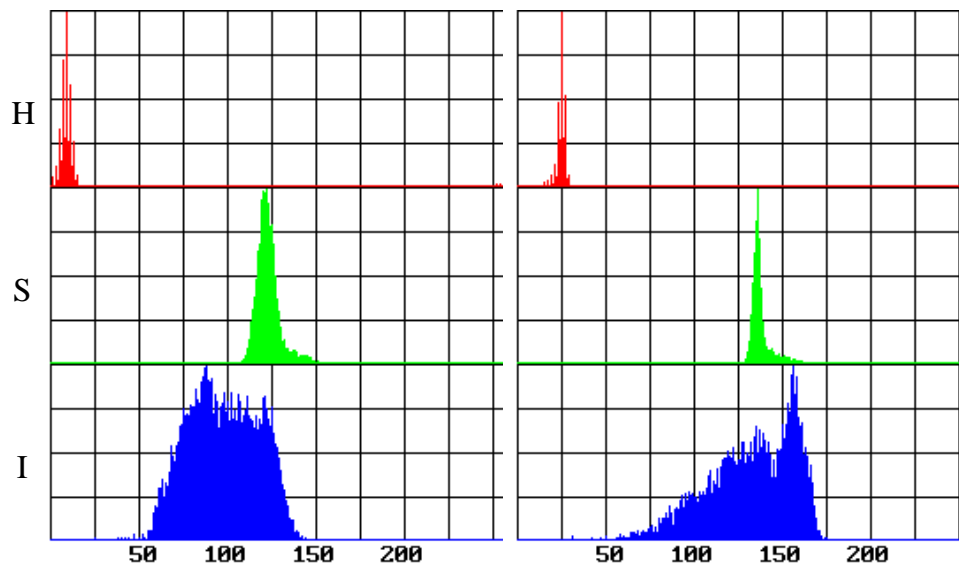


4.2 水果按表面颜色分级





4.2 水果按表面颜色分级





4.2 水果按表面颜色分级

分别选取**40**只红色脐橙样本和**40**只橙色脐橙样本，分别标记，然后分别送入机器视觉系统，记录其数字图像，对每一个水果重复**10**次，共得到**800**幅水果图像。

对这些水果图像，先去除背景，然后用图像面积加权彩色直方图进行分析，将色度值在**1-60**号之间的彩色直方图数据放入**1**个文本文件，该文件记录的数据为**800**行**60**列。然后用matlab软件的PRINCOMP函数进行主成分分析(PCA, Principle Component Analysis)。



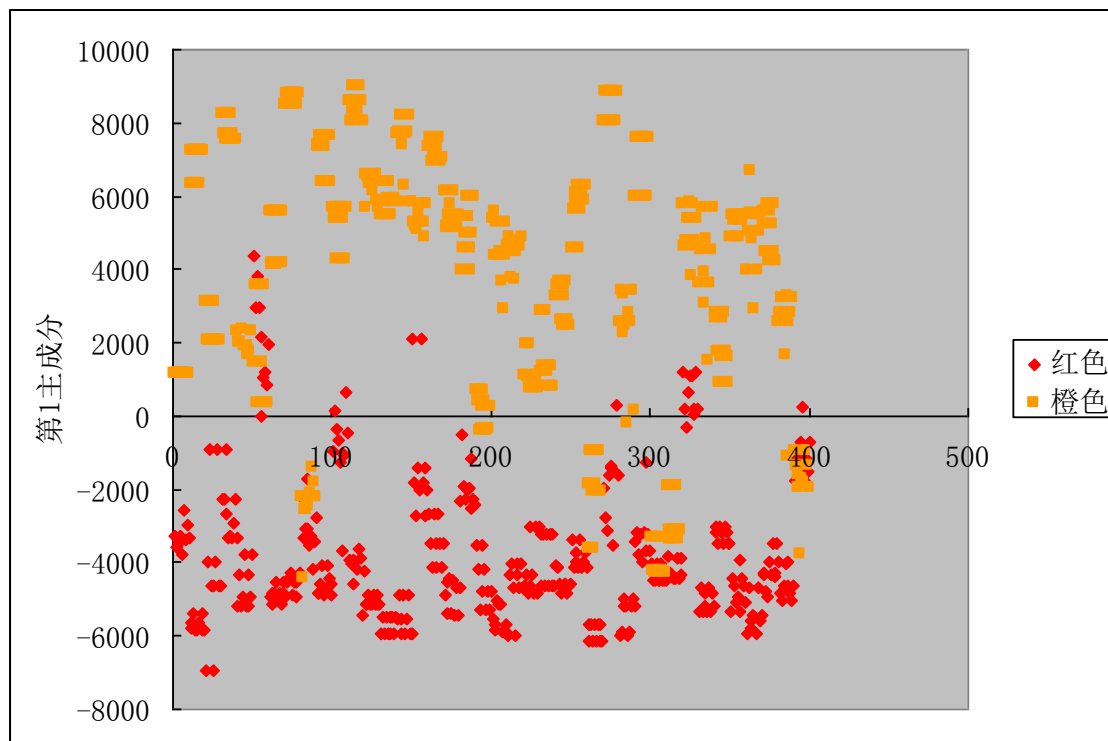
4.2 水果按表面颜色分级

前 4 个主成分的方差贡献率及累计方差贡献率

序号	方差贡献率 (%)	累计方差贡献率 (%)
1	64.12	64.12
2	21.25	85.37
3	7.13	92.50
4	3.68	96.18



4.2 水果按表面颜色分级



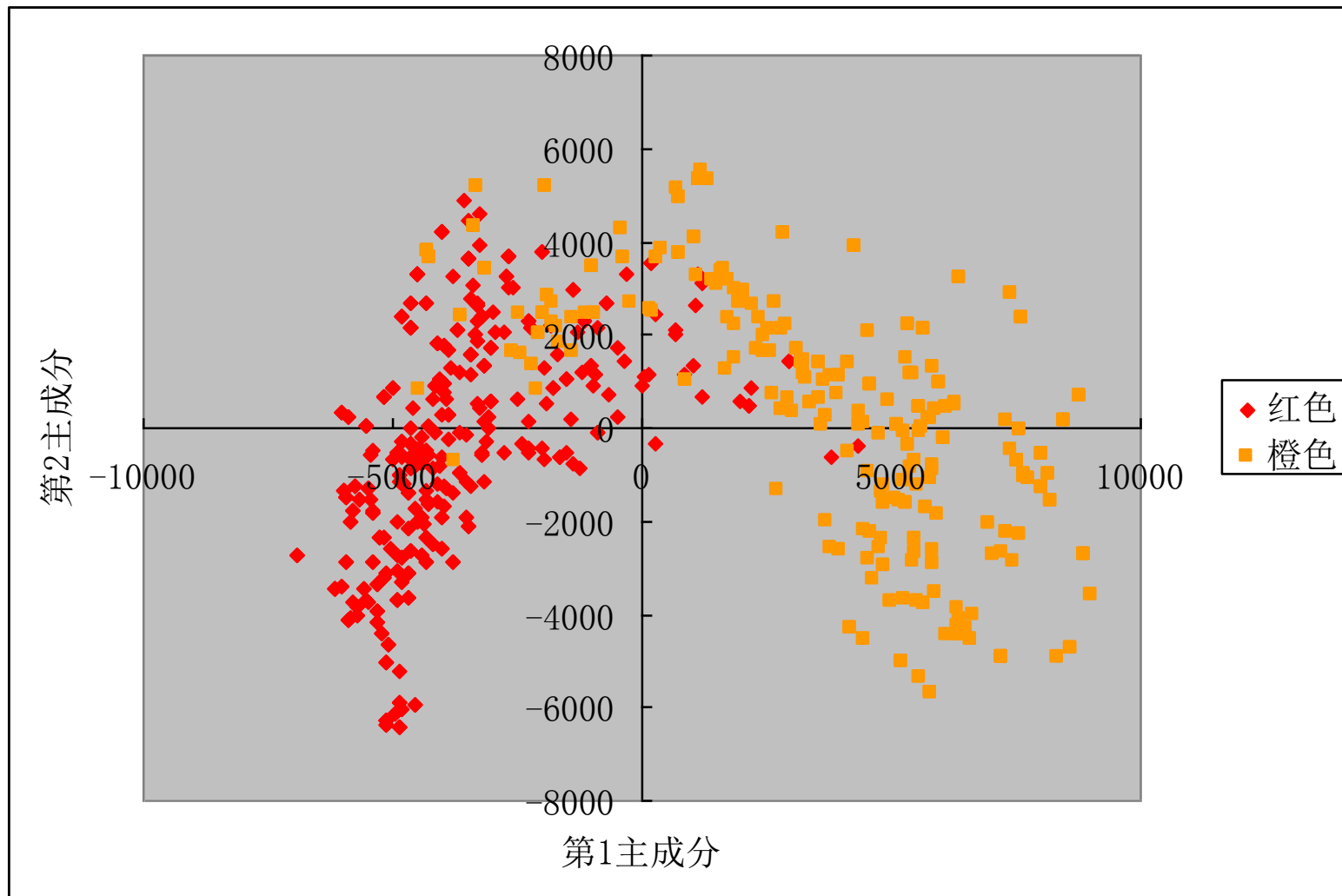
按第 1 主成分分类结果

	红色	橙色
红色	375	25
橙色	56	344

总相对误差>10%



4.2 水果按表面颜色分级





4.2 水果按表面颜色分级

从以上两个主成分的分类图上看，直接用主成分难以取得更好的效果。我们采用马氏(Mahalanobis)距离法来对样本作进一步的处理。

$$D_M(x) = \sqrt{(x - \mu)^T \Sigma^{-1} (x - \mu)}$$

样本到样本中心点的马氏距离

待测对象第*i*个主成分

样本中心点第*i*个主成分均值



4.2 水果按表面颜色分级

马氏距离法取第 1 主成分分类结果

	红色	橙色
红色	393	7
橙色	16	384

从表中可以看出，红色样本有7次被误判为橙色水果，相对误差为1.75%，而橙色样本有16次被误判为红色水果，相对误差为4%，总相对误差2.9%。



4.2 水果按表面颜色分级

马氏距离法取第 1、2 主成分分类结果

	红色	橙色
红色	394	6
橙色	8	392

当K取2时，用马氏距离法得到的分类结果如上表所示。从表中可以看出，红色样本有6次被误判为橙色水果，相对误差为1.5%，而橙色样本有8次被误判为红色水果，相对误差为2%，总相对误差1.8%。

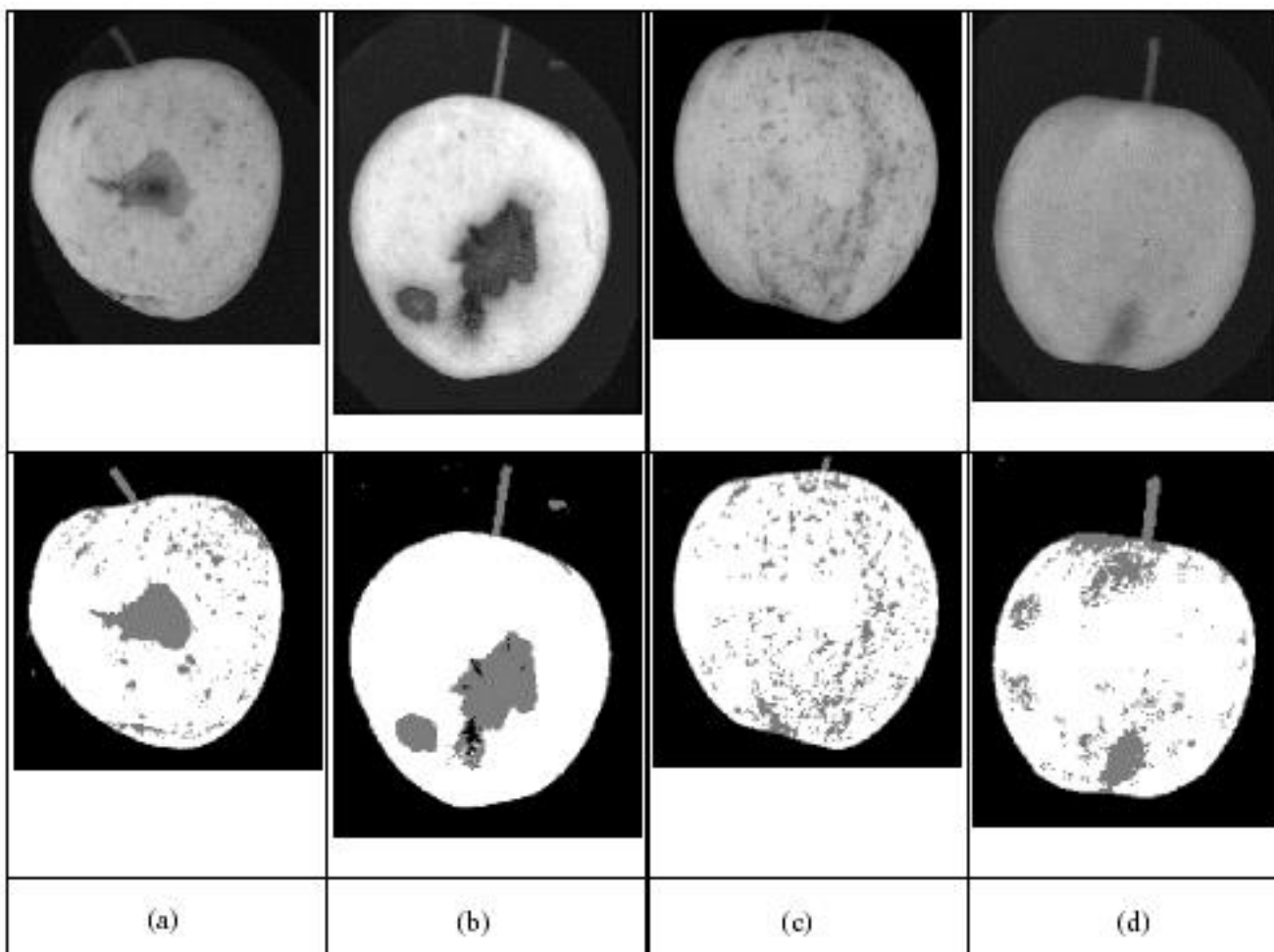


4.2 水果按表面颜色分级





4.3 水果缺陷的实时检测





基于掩模法的脐橙表面常见缺陷分割研究

➤ 首先对原图像取反:

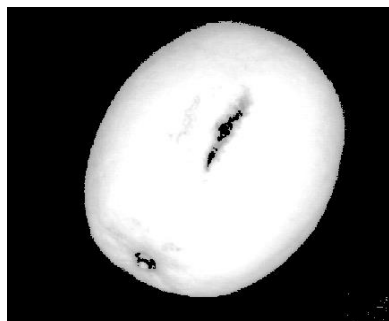
$$I_R = I^c = 255 - f(i, j)$$

➤ 对比各分量图像 (**R,G,B**)，寻找合适的分量图像 (**R**)

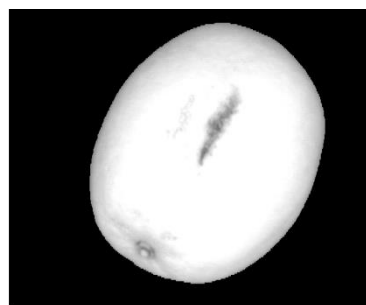
➤ 对**R**分量图像进行掩模处理:

$$I_{\text{mask}} = I_R * R$$

➤ 图像分割形成二值图像



单阈值分割方法



掩模分割方法



基于掩模法的脐橙表面常见缺陷分割研究



a. 好果



b. 裂果



c. 划伤



d. 愈合伤



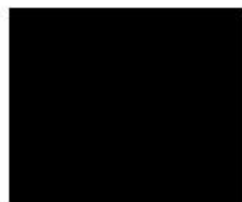
e. 溃疡



f. 黑心病

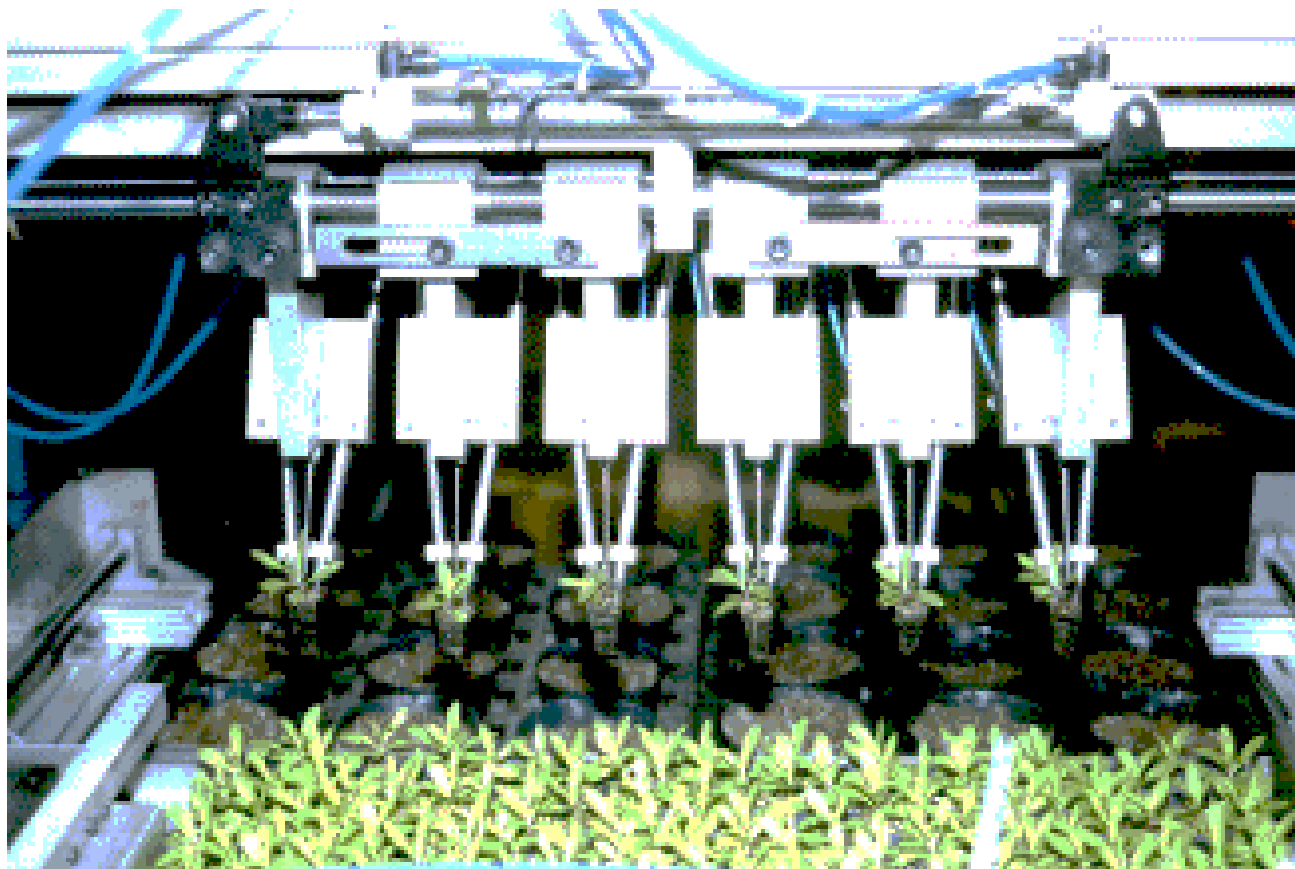


g. 日灼





4.4 幼苗移栽





(1) 背景分割

从摄像机取得的图像，既有背景又有目标，我们需要将苗从背景中分离出来，它是随后的目标分析、生长点识别的基础，分离效果的好坏也是视觉系统成功与否的关键。常用的分割方法是阈值处理，阈值处理又可分为灰度阈值和彩色阈值处理。



(1) 背景分割

- 由于苗为青绿色，其R、G、B个分量中，G的数值比R和B大，而背景中则无此特征，所以就以(R-G)和(R-B)来作为图像分割的阈值：

if $(R-G) > T_1$ and if $(R-B) > T_2$

then

像素为目标

else

像素为背景

T_i 的取值在实验中确定，它与苗的颜色深浅程度和光照强弱等因素有关系。



(1) 背景分割



(a)



(b)



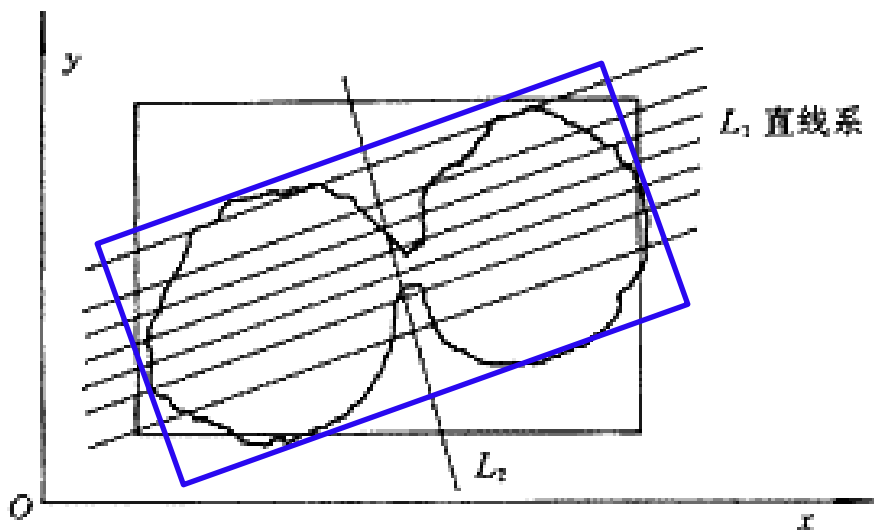
(2) 生长点识别

寻找生长点有很多方法。如果**2**个叶片大小相等，形状相似，那么生长点就在图像的重心处，此时用求几何重心的方法即可很容易地求得；但是苗的形状不可能是理想对称的，利用此法找到的生长点一般都不太准，不能达到嫁接所要求的位置精度。



(2) 生长点识别

■ 用解析几何方法检测苗的生长点



- 从苗的形状可以看出，苗的2个叶片大体上是2个椭圆，生长点位于2个椭圆的长轴交点处；
- 生长点的位置大约就在图像“最窄”处。
- 分割图像，获取苗的形状；
- 求最小外接矩形；
- L_1 直线系是叶片最长轴方向的平行直线系， L_2 垂直于 L_1 。



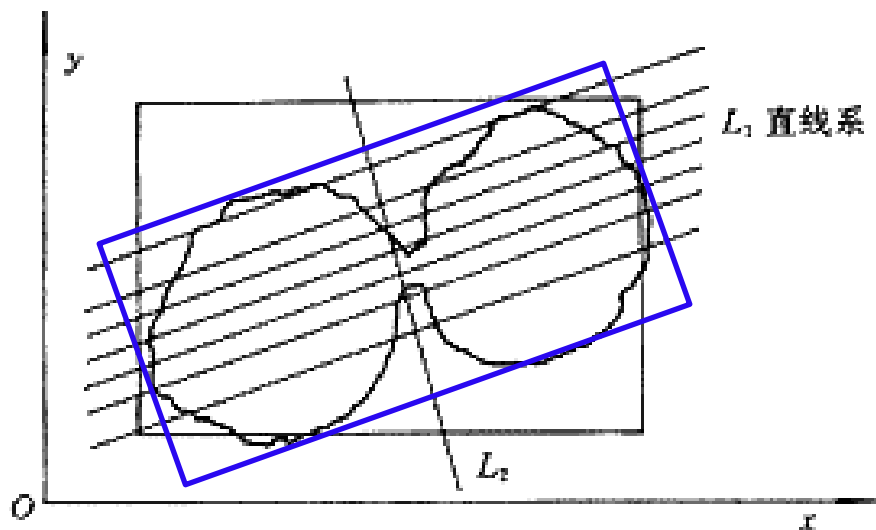
(2) 生长点识别

■ 用解析几何方法检测苗的生长点

(1) 从 L_1 直线系上来观察，一般情况下从左到右 L_1 先与苗有一个交点，经过一个叶片后又进入非目标区，然后再进入另一个叶片，最后从另一个叶片出来；

(2) 距离生长点越远的直线， L_1 在2个叶片之间的线段就越长；

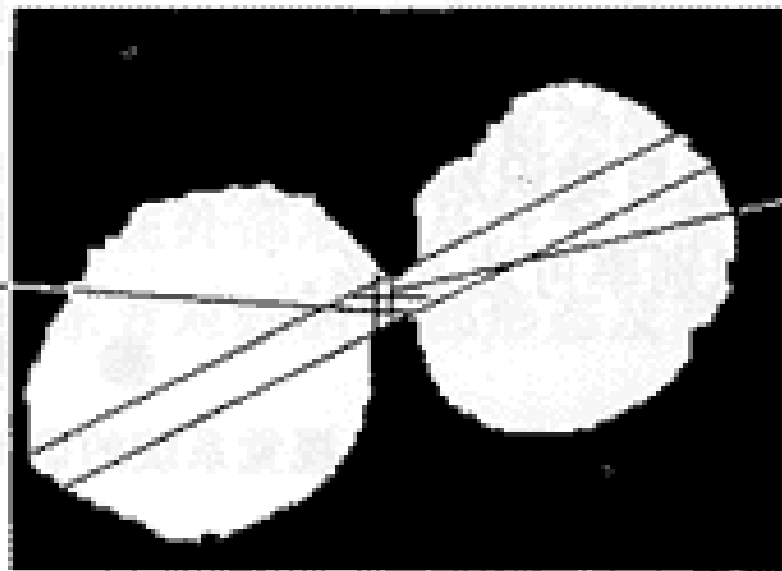
(3) 利用这一特点来寻找生长点的位置。





(2) 生长点识别

图像的
重心位置



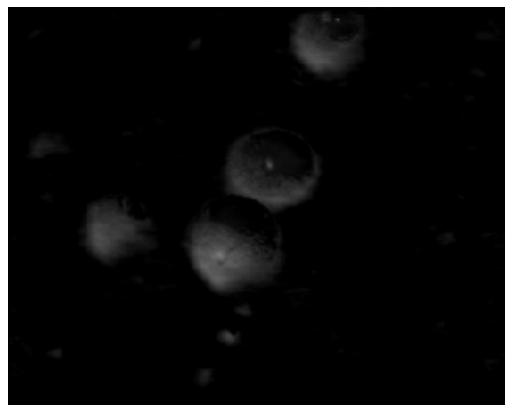
计算出的
生长点位置



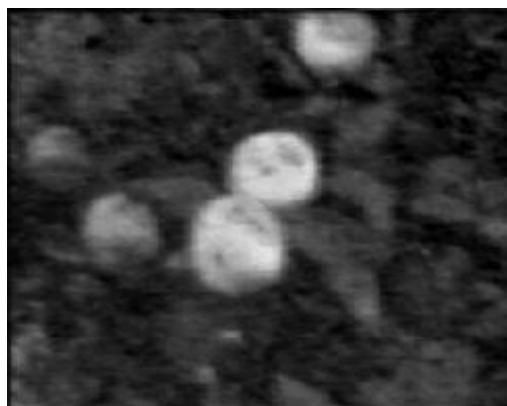
4.5 树上柑桔识别



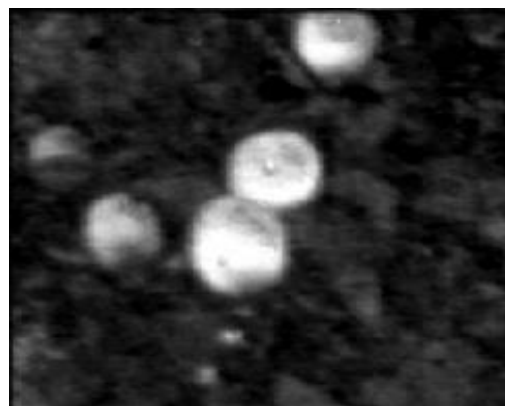
(a) RGB



(b) R-G



(c) G-B



(d) R-B



(1) 柑桔与背景的分割

(1) 在**图像分割**中最常用的方法是阈值分割法。其基本思想是利用图像的灰度特征来选择一个最佳阈值，并将图像中的每个像素的灰度值与阈值进行比较，最后将对应的像素根据比较结果分到合适的类别中。

(2) **模糊阈值法(动态阈值法)**是一种基于图像的模糊数学描述，通过计算图像的某种模糊测度来选取分割阈值的方法。由于灰度图像本身所具有的模糊性，因此，采用图像的模糊测度作为图像分割的依据，在某些方面，特别是在处理自然环境中采集的图像中更为合理。



方法一、动态阈值分割法

对于任一幅图像，设 T_1 为全局最优时的分割阈值，而 T_A 为以待分割像素点 (i, j) 为中心的邻域 $A(M \times N)$ 上的像素集特征量，则该点适用的分割阈值为：

$$T = (1 - \alpha)T_1 + \alpha T_A$$

式中： α 为调整率，其取值范围为 $0 < \alpha < 1$

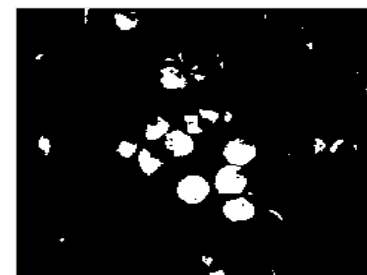
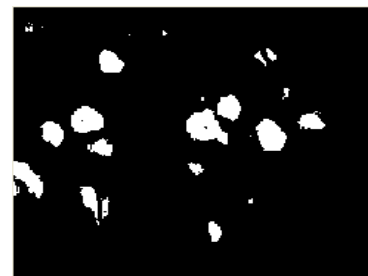
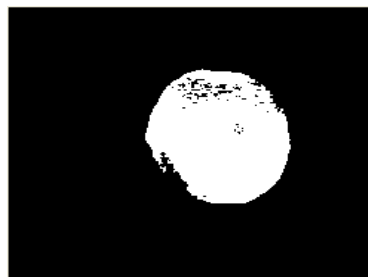
在本研究中，邻域 A 选用 3×3 ，则 $T_A = \frac{\sum_A (R - B)}{9}$

通过实验取 $\alpha = 0.4$ ， $T_1 = (\max(R - B) + \min(R - B)) \times 0.6$ 。 $\max(R - B)$ 表示图像所有像素中 $R - B$ 值的最大值， $\min(R - B)$ 表示图像所有像素中 $R - B$ 值的最小值。

在动态阈值法下，设阈值分割法规则如下：
$$g(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{其它} \\ 255 & (R - B) > T \end{cases}$$

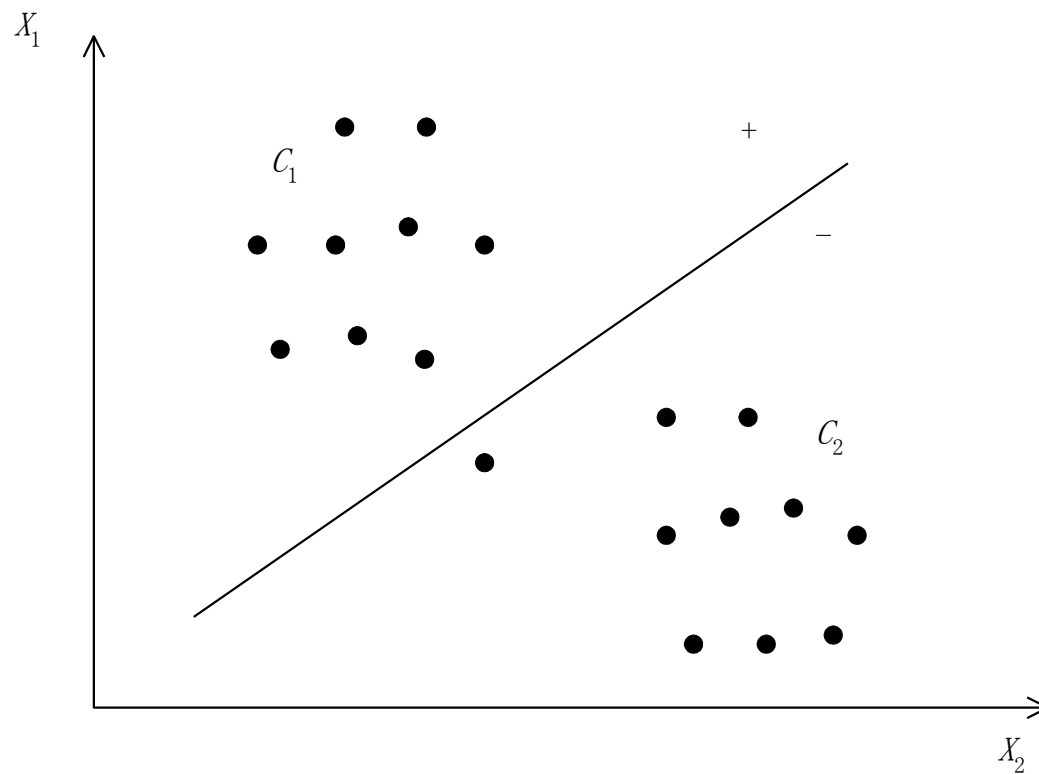


(3) 分割结果





方法二、线性判别法



$$d(x) = w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3$$



方法二、线性判别法

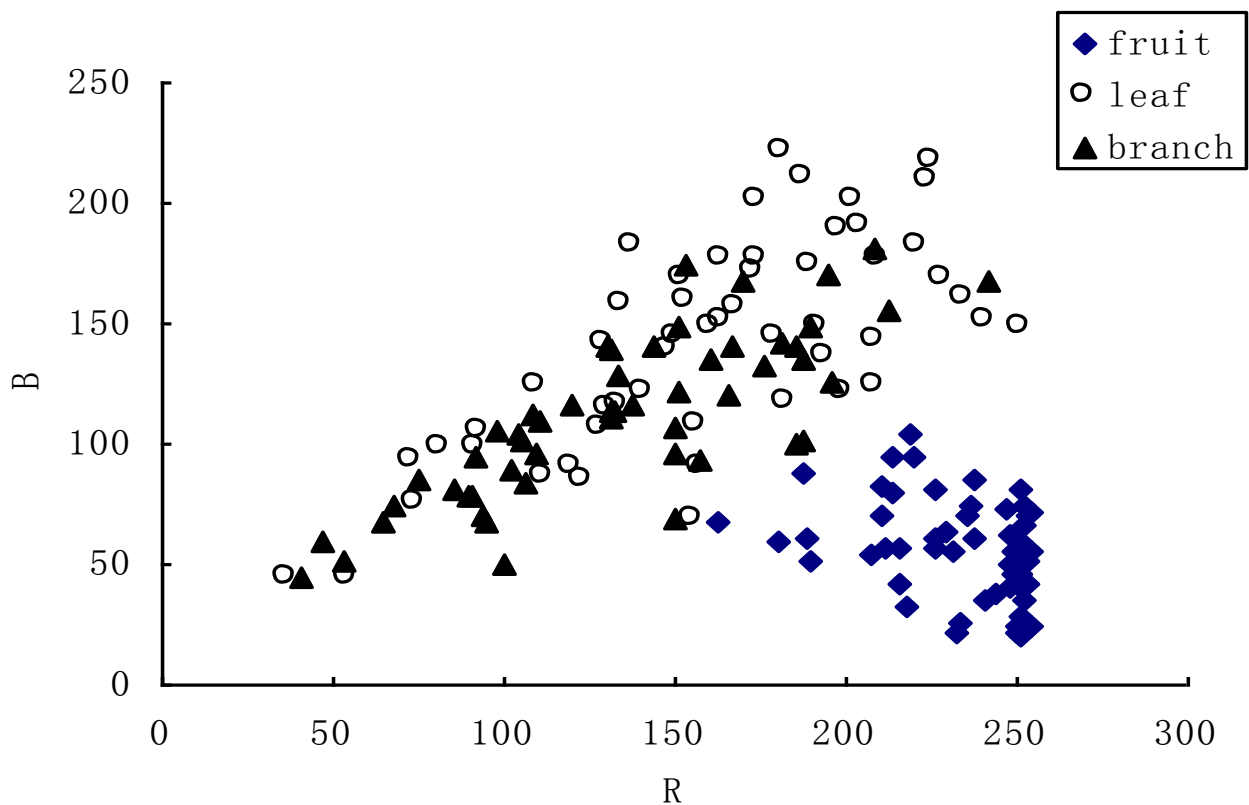
◆树上柑桔图像





方法二、线性判别法

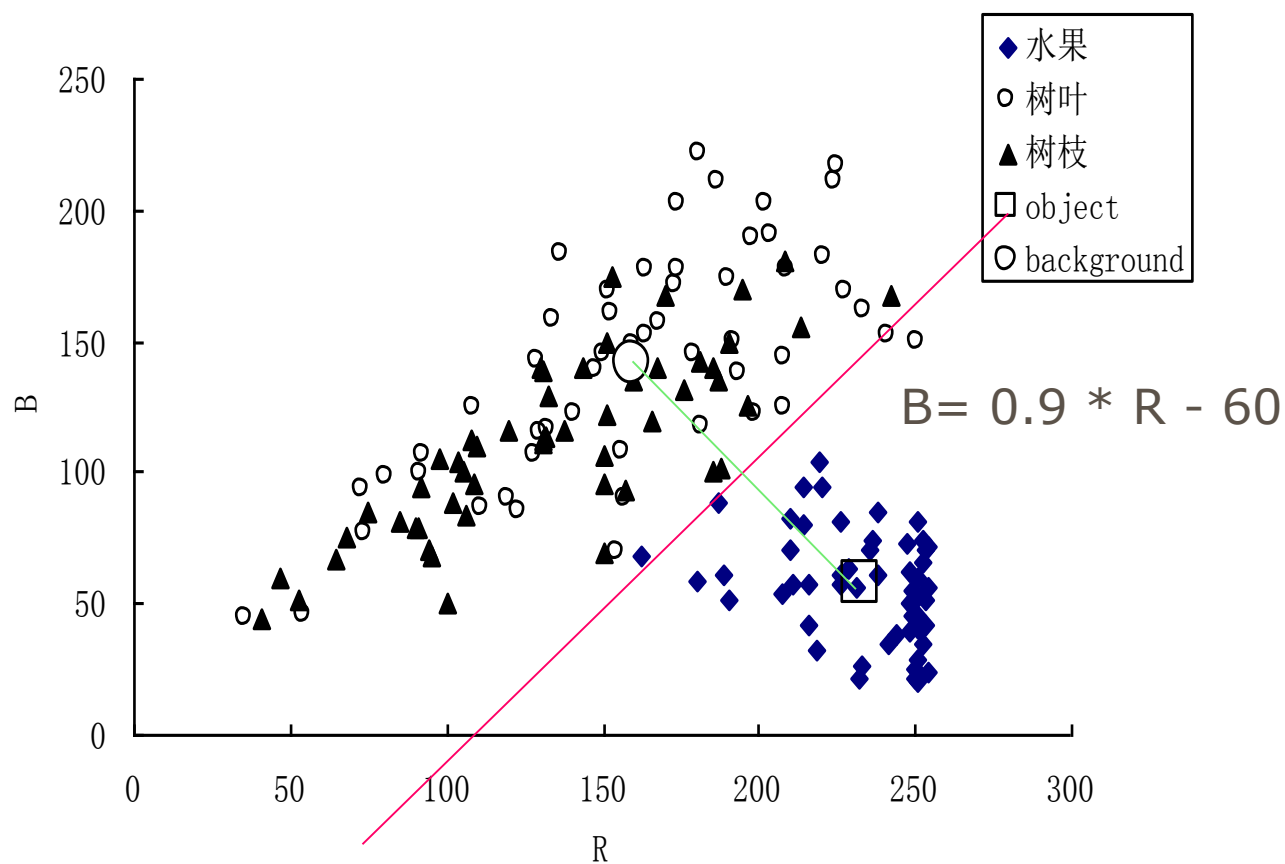
◆柑桔树图像特征





方法二、线性判别法

◆线性判别函数





方法二、线性判别法

◆ 线性判别





本章思考题

什么是三基色?相加混色与相减混色的基色是否相同?