

# 基于树莓派和 TCS34725 颜色传感器的液体颜色相关实验

郭泓莹 16307110341 物理学系

**摘要：**本文对基于树莓派和 TCS34725 颜色识别传感器的液体颜色实验进行了分析，使用蝶豆花在水中浸泡得到含花青素溶液和使用洗甲水提取的含叶绿素溶液。对花青素溶液，测量与其它溶液等按不同比例混合时的 RGB 值，发现碳酸氢钠溶液占总溶液体积分数 0.00049-0.00098 时约化的 G 值上升，对应紫色-蓝色变化区间；体积分数 0.0039-0.0078 时约化的 G 值超过 B 值，对应蓝色-绿色变化区间。对叶绿素溶液，利用滤光片限定光源和测量光线的波长范围，每次稀释一倍，测量被光源照射时的 RGB 值，发现原溶液稀释 3 次（8 倍）时红色荧光最强。

## 一、引言

颜色识别传感器是一类在工业上有重要应用的颜色检测设备，分为 RGB 颜色传感器和色差传感器，其中 RGB 传感器通过在光电二极管前放置红、绿、蓝色的滤光片检测三种颜色的光强<sup>[1]</sup>。TCS34725 是一种常用于电子制作的 RGB 传感器，如有人制作过基于 Arduino 平台和 TCS34725 颜色传感器的 pH 计，通过比较 pH 试纸和比色卡的颜色确定 pH 值<sup>[2]</sup>。

植物中存在大量天然色素，如叶绿素等光合色素和花青素等细胞液色素。叶绿素分子从最低激发态跃迁至基态时会发出 680nm 的荧光，这一效应最早在 1834 年被记录<sup>[3]</sup>；而溶液中的花青素随 pH 变化改变分子结构，从而出现不同的颜色。

本实验利用树莓派和 TCS34725 颜色传感器测量含花青素溶液与其它溶液混合时的 RGB 值，以及含叶绿素溶液在蓝光照射下的 RGB 值，探究液体中花青素的变色和叶绿素的荧光效应。



图 1 花青素在不同 pH 下的颜色变化<sup>[4]</sup>

## 二、实验原理

1. TCS34725 颜色识别传感器含有 12 个光电二极管，其中贴有红色、绿色、蓝色和红外滤光片（读取值为“Clear”）的二极管各 3 个，二极管分布和考虑滤光片影响的光谱响应度曲线如下：

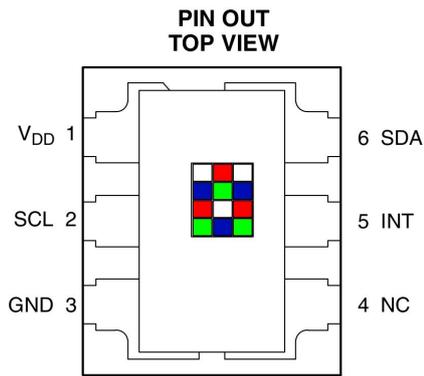


图 2 TCS34725 带滤光片二极管分布

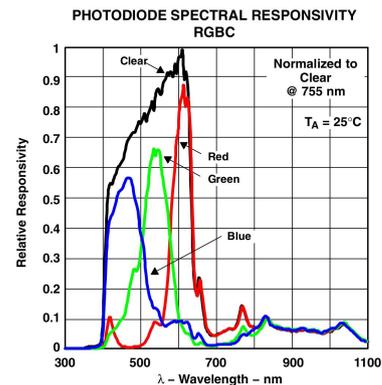


图 3 TCS34725 光谱响应度曲线

2. TCS34725 颜色识别传感器通过 I2C 通讯与树莓派连接，地址为 0x29。开始读取前需先向寄存器地址 0x00 发送字段“0x00”和“0x03”。Clear、Red、Green、Blue 寄存器地址分别从 0x14、0x16、0x18、0x1A 开始，占两个字节。注意以上所有寄存器地址发送时都需要加上 0x80 才有效。读取的 RGB 和 Clear 值正比于单位时间内二极管接收的光子数目<sup>[5]</sup>。

3. 叶绿素从基态跃迁至第二单线态吸收波长为 430nm，从基态跃迁至第一单线态吸收波长为 670nm，从第一单线态跃迁至基态发出荧光波长为 680nm。为避免测量荧光时测到光源发出的光线，在光源外紧贴 QB24 蓝色滤光片，阻挡光源中波长 550nm 以上的光，并可在 TCS34725 的二极管前放置 HB650 红色滤光片，阻挡 600nm 以下的光，从而防止干扰。

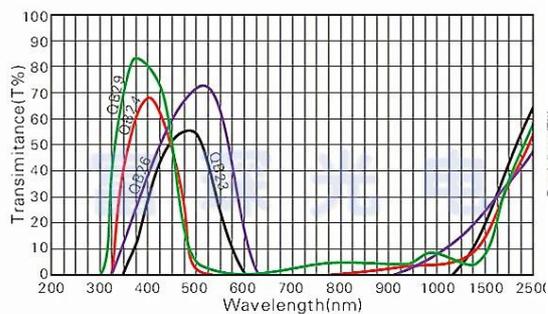


图 4 QB24 滤光片参考光谱 (红色线)

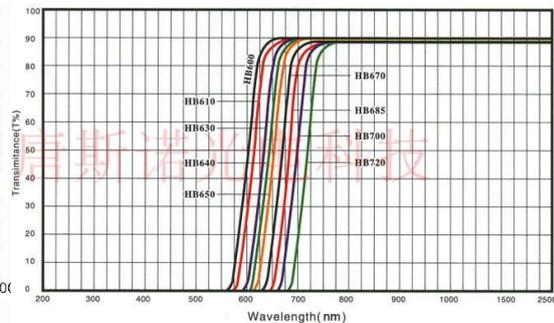


图 5 HB650 滤光片参考光谱 (橙色线)

### 三、实验装置及过程

#### 实验装置:

1. 树莓派 3B、TCS34725 颜色识别传感器、杜邦线若干、手机 (提供光源和拍摄参考图像)；
2. 注射器、白色塑料制冰格、干蝶豆花、水、碳酸氢钠；
3. 洗甲水 (有效成分为丙二醇)、绿叶蔬菜、玻璃杯和木勺 (用于捣碎菜叶)、擦镜纸 (代替滤纸)、带 10mL 为单位刻度线的塑料瓶、QB24 蓝色滤光片、HB650 红色滤光片。

## 实验过程：

### 1. 花青素相关实验

(1) 干蝶豆花在刚煮沸的水中浸泡 10 分钟左右，得到有较深蓝紫色的溶液待用；

(2) 准备塑料制冰格一个用于盛放按比例混合的溶液；

(3) 用注射器吸取溶液 0.5mL-3.5mL（每两组相差 0.5mL），移入不同的小格中，再用注射器吸取水将溶液稀释至 4.0mL，更换不同溶液时先排空并用纸巾吸干残留液体；

(4) 开启 TCS34725 自带的 LED 灯，直接在液面上方测量反射光的 RGB 值，传感器放置高度保持约与冰格的刻度线相齐平，注意不要让传感器浸入液体；

(5) 关闭 TCS34725 自带的 LED 灯，使用手机屏幕的空白画面，放在制冰格下方提供光源，TCS34725 仍在液面上方测量；

(6) 用可乐代替水重复 (3) (4) (5)，观察现象（吸取可乐时注意排出气泡）；

(7) 取一定量的碳酸氢钠溶于水中（具体浓度未测量），得到待用的碳酸氢钠溶液；

(8) 用碳酸氢钠溶液代替水重复以上步骤，并与用水稀释的结果相比较，得出花青素溶液占总溶液体积为多少时，可使 RGB 值相差最大；

(9) 采用 (7) 中确定的花青素溶液体积，吸取移入制冰格中，再用与 (3) 类似的方法获得稀释不同倍数的碳酸氢钠溶液，将花青素溶液稀释到 4.0mL，比较使用不同浓度碳酸氢钠溶液的 RGB 值；

(10) 手机拍摄溶液图片，辅助结果分析。

### 2. 叶绿素相关实验

(1) 绿叶蔬菜撕成小块后放入玻璃杯中用勺柄捣碎（改用任何便于操作的器具均可）；

(2) 倒入洗甲水后继续捣碎，可观察到浸出深绿色的液体，用蓝光照射时有明显的红色荧光；

(3) 擦镜纸晾干后直接折成漏斗形放在带刻度塑料瓶上，将浸出液体倒入开始过滤（受到实验条件限制，有条件最好用漏斗和滤纸）；

(4) 共得到 10mL 液体，如液体不够可继续重复 (2) (3)；

(5) 蓝色滤光片用胶带固定在手机手电筒前用作蓝色光源，红色滤光片可紧贴在 TCS34725 前限定接收光波长或取下；

(6) 黑暗条件下进行测量，手机平面和 TCS34725 平面成直角，且 TCS34725 卡在蓝色滤光片边缘处，塑料瓶放在四个位置测量 RGB 值（如图）：

①与手机平面和 TCS34725 平面相切

②与蓝色滤光片相切

③距离 TCS34725 约为蓝色滤光片直径两倍（5cm），此时肉眼观察无红色光

④直接移去塑料瓶，此时原被塑料瓶遮挡的少量杂散光可能入射；

(7) 按塑料瓶上刻度稀释溶液，重复 (6) 中测量。

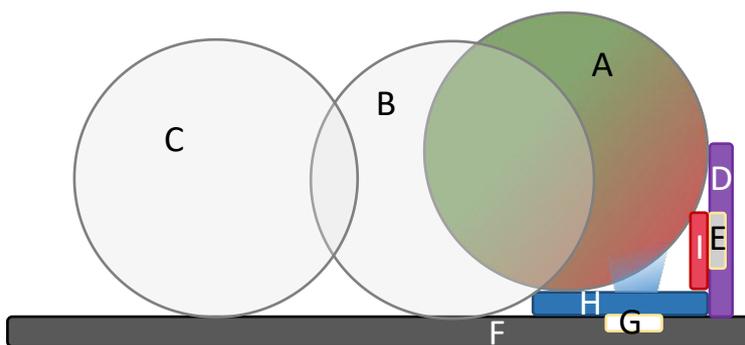


图6 叶绿素溶液颜色测量装置（顶视图）

A/B/C: 塑料瓶测量时的位置①/②/③, D: TCS34725 颜色传感器,  
E: 传感元件, F: 手机, G: 闪光灯, H: QB24 蓝色滤光片,  
I: HB650 红色滤光片

#### 四、实验结果及分析

##### 1. 花青素相关实验

(1) 使用水稀释不同体积的花青素溶液至 4.0mL，分别用传感器自带 LED 和手机屏幕作为反射/投射光源，测量得到 RGB、Clear 值与花青素溶液占稀释溶液体积分数如下所示。可以发现在使用水稀释的测量结果中，随着花青素溶液体积分数升高，四个值均发生下降。对照拍摄的图片发现，这是由于制冰格为白色半透明，当溶液浓度低时，更容易测量到底部反射或透过的光线，而溶液浓度升高时，光线被吸收导致测的数值下降。

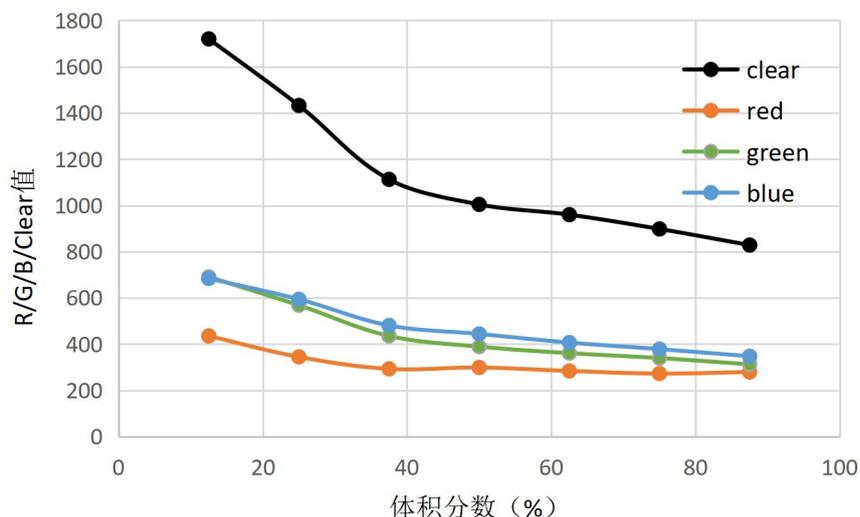


图7 花青素溶液占稀释溶液体积分数与RGB值关系（传感器自带LED）

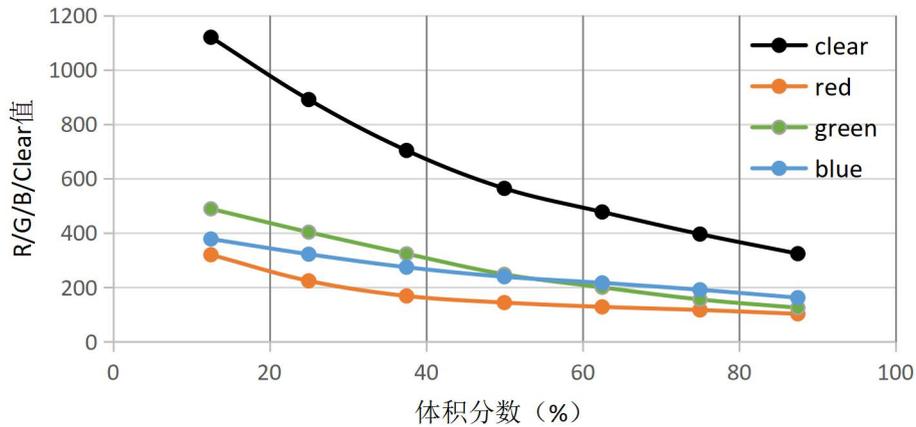


图8 花青素占稀释溶液体积分数与RGB值关系  
(手机屏幕作光源)

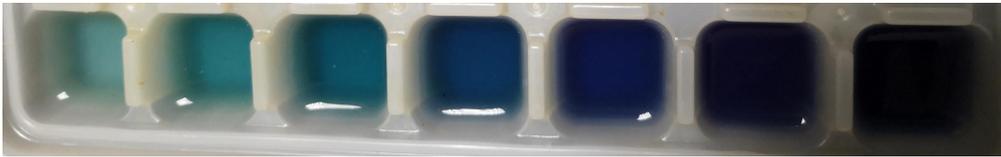


图9 花青素用水稀释图片  
(从左至右花青素溶液体积分数逐渐升高)

(2) 使用可乐稀释不同体积的花青素溶液至 4.0mL，测量结果如下所示。在传感器自带 LED 测量结果中，四个值均随着体积分数变化出现“w”型图像。但在使用手机屏幕为光源的测量结果中未出现这一情况，Clear 值随着花青素溶液体积分数增加而下降，这一趋势与 (1) 中类似，R 值也逐渐下降，而 G、B 值先下降后上升。使用 Paint 软件提取拍摄图像中 RGB 值，发现 R 值单调下降的趋势明显，更接近使用手机屏幕作为光源的结果 (Paint 软件中的 RGB 值限定在 0-255 之间，与 TCS34725 测得的值需换算才能进行直接比较，此处仅用作参考)。而用自带 LED 直接测量时因为 LED 灯离液面近，容易因测量不同数据时传感器高度不一致引起误差，后续测量中均选择手机屏幕作为光源。

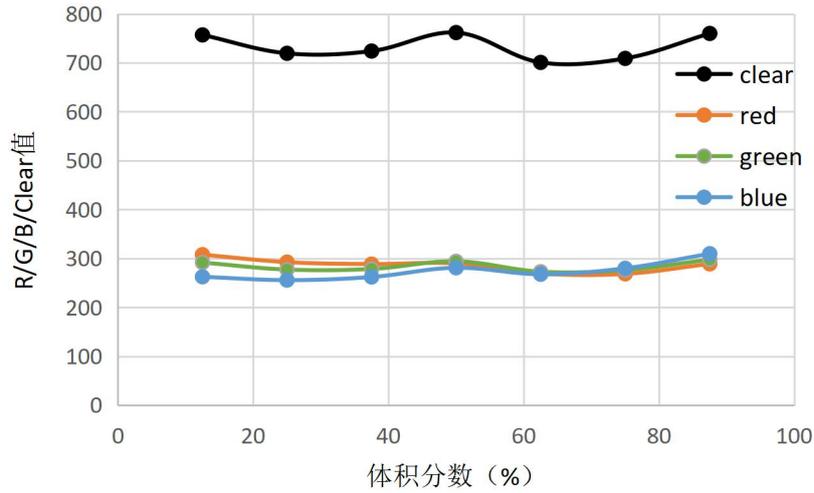


图10 花青素溶液占与可乐混合溶液体积分数与RGB值关系 (传感器自带LED)

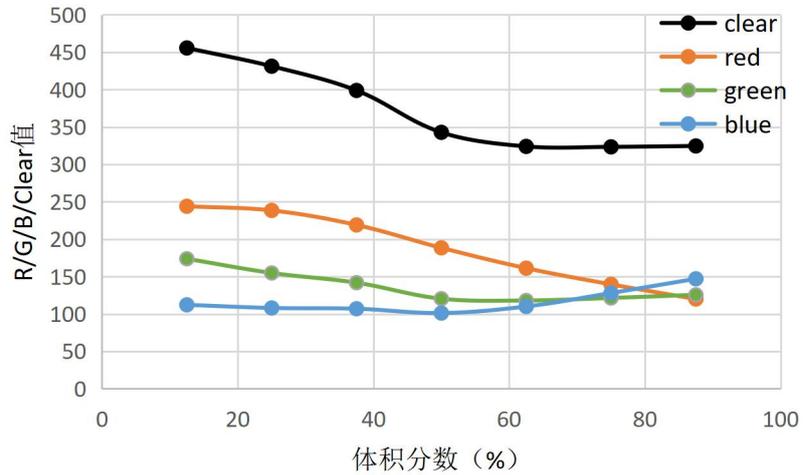


图11 花青素溶液占与可乐混合溶液体积分数与RGB值关系 (手机屏幕作光源)



图12 花青素用可乐稀释图片 (从左至右花青素溶液体积分数逐渐升高)

序号	1	2	3	4	5	6	7
R	83	84	80	68	51	22	6
G	24	21	18	15	9	6	3
B	3	3	7	11	11	13	12

表1 使用 Paint 软件提取的不同体积分数溶液的 RGB 值 (对应溶液顺序与上图相同)

(3) 使用碳酸氢钠溶液稀释不同体积的花青素溶液至 4.0mL，使用手机屏幕作为光源，测量结果如下所示。与 (1) 中类似，四个值均显示逐渐下降的趋势，但 G 值始终大于 B 值，这与花青素在碱性条件下呈现绿色相符，而 (1) 中仅在花青素溶液体积分数较低时 G 值大于 B 值。比较 7 种不同体积分数下使用碳酸氢钠溶液和使用水稀释所测得 G 值之差，发现当花青素溶液体积最大取 3.5mL 时，G 值之差最大，为 38.2。因此后续步骤种均取花青素溶液体积为 3.5mL，稀释不同倍数的碳酸氢钠溶液 0.5mL。

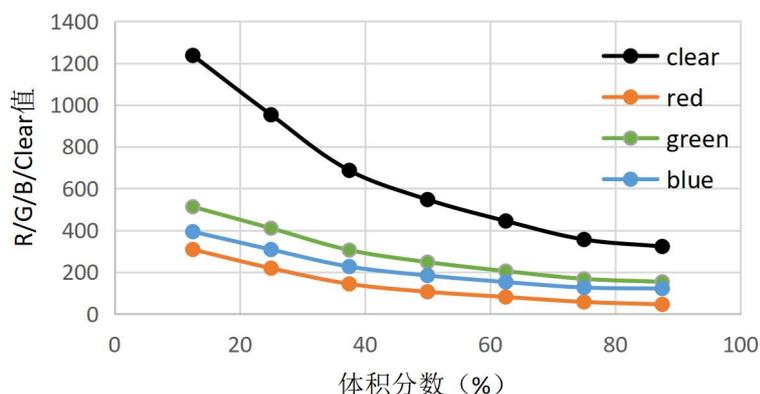


图13 花青素溶液占与NaHCO<sub>3</sub>混合溶液体积分数与RGB值关系 (手机屏幕作光源)



图 14 花青素用 NaHCO<sub>3</sub> 溶液稀释图片 (从左至右花青素溶液体积分数逐渐升高)

(4) 花青素溶液体积为 3.5mL 不变，加入 0.5mL 不同稀释倍数的碳酸氢钠溶液。使用未稀释的碳酸氢钠溶液占最终混合溶液体积分数为横坐标，并使用对数坐标，结果如下所示。发现四个值均按相同趋势出现不规则的变化，重复测量后也有同样现象（此处未给出），可能是几个冰格底部透光程度不一致导致的结果。而用 R、G、B 值分别除以 Clear 值则出现明显的变化趋势：前 3 组 RGB/Clear 值变化不大（相差不超过 0.03），从第 3 组开始的趋势为 G/Clear 值上升，B/Clear 值和 R/Clear 值下降。对照拍摄图片（第 1-7 组为第二行从左至右，第 8 组为第一行右一），可发现前 3 组为紫色，第 4 组-第 8 组从蓝紫色过渡到绿色。即体积分数 0.00049 至 0.00098 为紫色-蓝色变化区间（此时 G/Clear 开始上升），0.0039-0.0078 为蓝色-绿色变化区间（此时 G/Clear 值开始超过 B/Clear 值）。

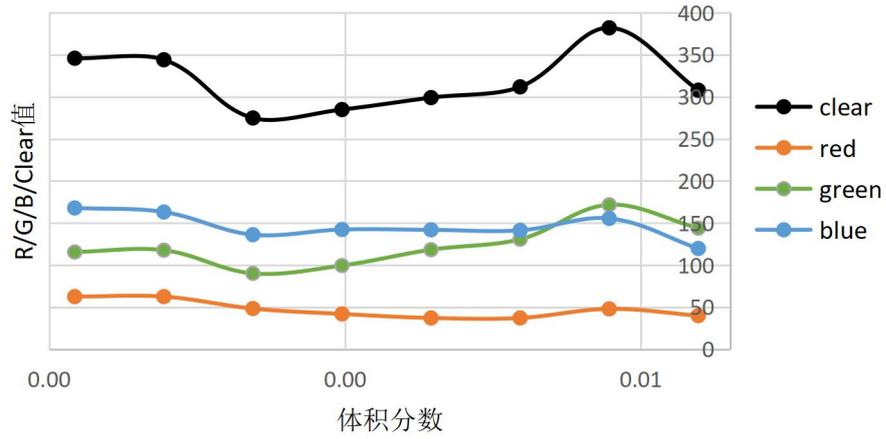


图15 NaHCO<sub>3</sub>溶液占混合溶液体积分数与RGB值关系 (手机屏幕作光源)

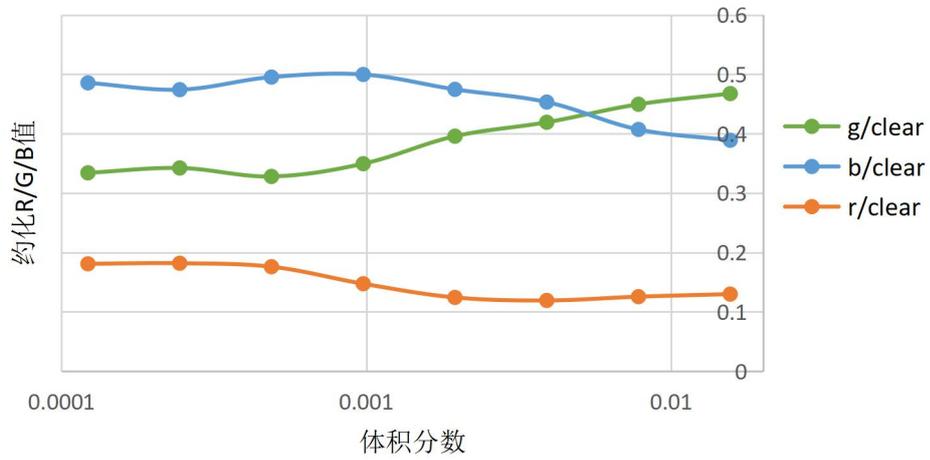


图16 NaHCO<sub>3</sub>溶液占混合溶液体积分数与RGB/Clear值关系 (手机屏幕作光源)

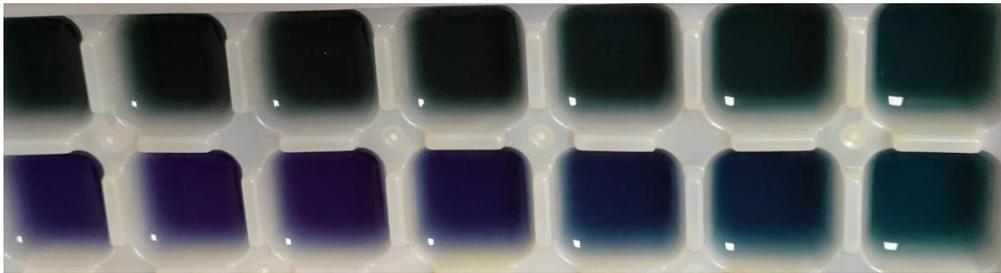


图 17 不同浓度 NaHCO<sub>3</sub> 溶液用花青素溶液稀释图片 (第二行从左至右 NaHCO<sub>3</sub> 溶液体积分数逐渐升高)

## 2. 叶绿素相关实验

(1) 向捣碎菜叶中倒入洗甲水研磨，得到深绿色溶液，用蓝光照射，反射光有明显的红色荧光出现，如图所示。



图 18 蓝光照射时透射光为绿色

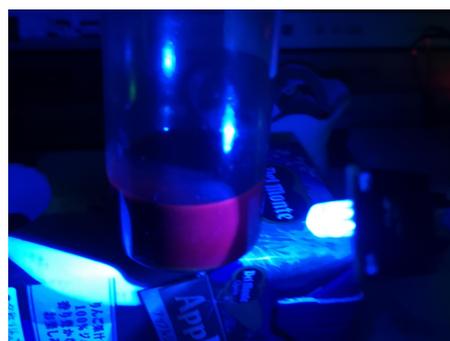


图 19 蓝光照射时反射光为红色

(2) 使用 (三) 中的实验装置, 对未稀释的溶液分别在有无红色滤光片时进行测量, 结果如下。不加红色滤光片时, B 值最大, R 值最小, 因为蓝色光源可直接照射到 TCS34725 上。且在位置 4 (完全移走塑料瓶) 仍表现相同的规律, 因此这一现象主要受光源影响 (为扣除光源的作用, 可以研究位置 1 测量值与位置 2 测量值之差)。增加红色滤光片后, B 值和 G 值大幅度下降至 100 以内, 当塑料瓶放在位置 1 时 R 值为最大。由于 TCS34725 的 G 和 B 通道并不完全阻挡波长 650nm 以上的光线, G 和 B 测量值不会为 0。

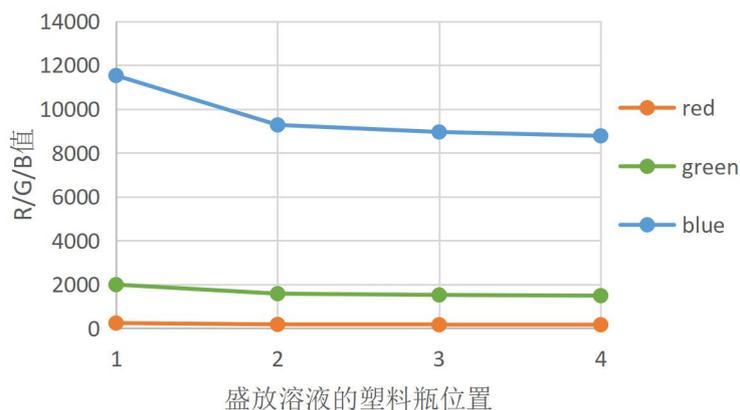


图20 未稀释溶液无红色滤光片测量结果

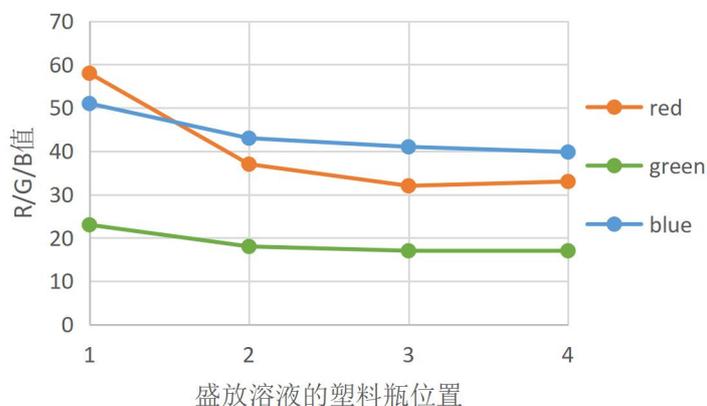


图21 未稀释溶液有红色滤光片测量结果

(2) 将 10mL 溶液稀释至 20mL 后直接进行测量，并与该 20mL 溶液取 10mL 在瓶中再次测量的结果比较，发现差异较大，即瓶中溶液的高度会影响测量结果。因为蓝光照射范围超出了 10mL 液体，当上部为空气时光线透过，上部为液体时也会反射光线和发射荧光。后续测量中为消除此影响，稀释溶液只取 10mL 测量。

	R	G	B
20mL 无滤光片	321.4	2635.2	14701.8
10mL 无滤光片	290.6	2325.6	12989.8
20mL 有滤光片	61.6	23.0	55.4
10mL 有滤光片	60.8	20.8	45.4

表 2 位置 1 处稀释两倍的溶液在不同条件下测量结果

(3) 对稀释 0-4 次的溶液，以原溶液占稀释溶液体积分数为横坐标，有红色滤光片和无红色滤光片进行测量，纵坐标分别为位置 1 的 R 值和位置 1 与位置 2 的 R 值之差作图，如图所示。两图均表现相同趋势：从未稀释到稀释 3 次溶液，红色光强增加；稀释 3 次到稀释 4 次溶液，红色光强下降或保持稳定。这与理论解释相符：叶绿素溶液浓度很高时，发出的荧光容易被周围分子重新吸收，最终测得的荧光反而较低，但溶液浓度太低时，叶绿素分子数目较少，荧光强度也会下降。实验中稀释 3 次（8 倍）的溶液产生了最强的红色荧光。

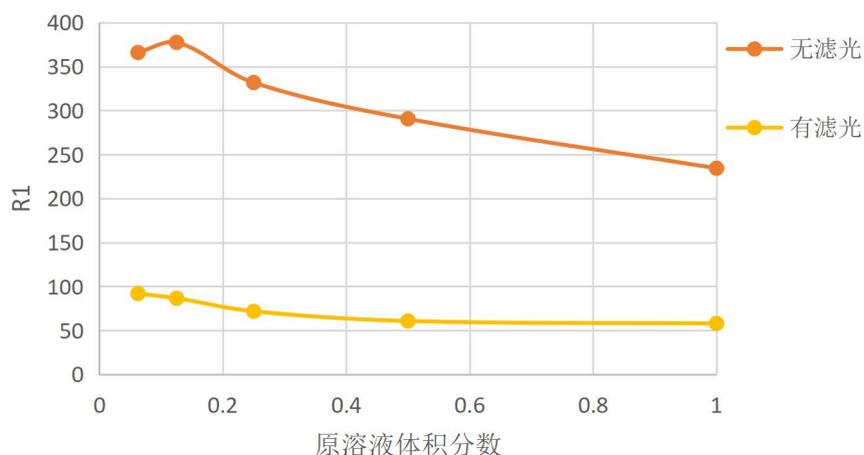


图22 位置1测得R值与原溶液占稀释溶液体积分数关系

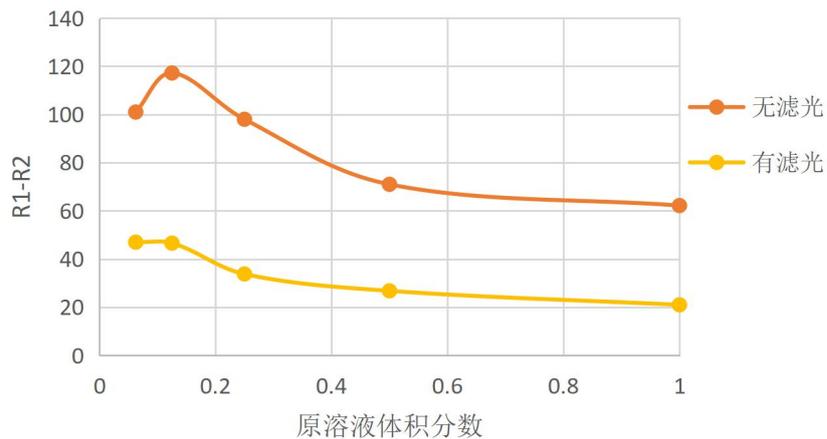


图23 位置1与位置2测得R值之差与原溶液占稀释溶液体积分数关系

## 五、实验结论

- ①花青素相关实验中，使用手机屏幕作为光源能获得比较稳定的测量结果；
  - ②当总溶液体积为 4.0mL，各组中花青素溶液选择 3.5mL 时，用碳酸氢钠溶液定容和用水定容测得的 G 值之差最大；
  - ③总溶液体积为 4.0mL，花青素溶液 3.5mL，当未稀释的碳酸氢钠溶液占总溶液体积分数 0.00049 至 0.00098 时，G/Clear 开始上升，对应紫色-蓝色变化区间，0.0039-0.0078 时 G/Clear 值开始超过 B/Clear 值，对应蓝色-绿色变化区间；
- ①使用蓝色和红色滤光片能避免光源对荧光测量的影响，但红色滤光片不会消除测量结果中的 G 值和 B 值；
  - ②测量时应保持溶液体积相同，避免受照射溶液体积更大导致测量结果更大；
  - ③叶绿素提取液稀释 8 倍时，在同一位置和相同体积下测得的荧光强度最大。

## 六、参考文献

- [1] 刘增辉. 颜色传感器技术研究进展[J]. 传感器与微系统, 2003, 22(4):1-4.
- [2] Color Sensor Type pH Meter  
[https://create.arduino.cc/projecthub/hminowa/color-sensor-type-ph-meter-b78638?ref=search&ref\\_id=color%20sensor&offset=4](https://create.arduino.cc/projecthub/hminowa/color-sensor-type-ph-meter-b78638?ref=search&ref_id=color%20sensor&offset=4)
- [3] 叶绿素荧光现象  
[http://www.360doc.com/content/13/1115/20/840510\\_329508625.shtml](http://www.360doc.com/content/13/1115/20/840510_329508625.shtml)
- [4] 小实验：变身吧，花青素~  
[https://m.sohu.com/a/143514485\\_616676](https://m.sohu.com/a/143514485_616676)
- [5] TCS3472 COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER with IR FILTER. TAOS135-AUGUST 2012.