

# 红掌佛焰苞中花色素与颜色形成的关系

杨 澜<sup>1,2</sup>, 李 崇 晖<sup>2</sup>, 黄 素 荣<sup>2</sup>, 陈 金 花<sup>2</sup>, 王 存<sup>2</sup>, 尹 俊 梅<sup>2</sup>

(1. 海南大学 园艺园林学院, 海南 海口 570100; 2. 中国热带农业科学院 热带作物品种资源研究所,

农业部华南作物基因资源与种质创制重点实验室, 海南 儋州 571737)

**摘 要:**利用切片观察法、显色法和比色法对佛焰苞中花色素的分布情况、组分及含量进行了初步分析。结果表明:红掌佛焰苞中主要含有类黄酮(包括花青素苷、黄酮和黄酮醇)、叶绿素和类胡萝卜素 3 类色素。大部分品种中类黄酮主要分布于上下表皮细胞中,‘萨维尔’等少数品种的栅栏组织中也有类黄酮分布;而叶绿素和类胡萝卜素则分布在栅栏组织中。各色系均含有类黄酮,红色系比其它色系含有更多的花青素苷,绿色系则含有叶绿素;参试品种中只有棕红色品种‘热带之夜’含有少量类胡萝卜素。花青素苷和叶绿素是佛焰苞显色的主要因素,总体上总花青素苷和叶绿素含量与颜色明度  $L^*$  呈负相关,而与彩度  $C^*$  呈正相关,即随着总花青素苷含量的增加,红色和粉红色佛焰苞的红色色调加强,叶绿素含量增加可使绿色和白色佛焰苞的绿色和黄色色调加强。

**关键词:**红掌;佛焰苞;花色素;颜色形成

**中图分类号:**S 682.1<sup>+</sup>4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)15-0068-06

红掌(*Anthurium andraeanum* Linden)为天南星科(Araceae)安祖花属(*Anthurium*)多年生草本植物,又名火鹤花、花烛、安祖花等,因其花形独特、花色艳丽、花期长而具有较高的经济价值。佛焰苞是红掌的主要观赏部位,其颜色以红色为主,配以粉红、棕红、橙、绿和白色,尚缺乏蓝色和黄色。肉穗花序具有黄、红、粉红、紫红以及绿色等颜色。为了满足消费者日益增长的对红掌花色多样性的需求,改良现有花色,创造新奇花色成为红掌育种的重要课题。有研究发现,花青素苷是一类存在于红掌佛焰苞中的主要色素,有矢车菊素、天竺葵素和芍药花素 3 类,它们通常以 3-芸香苷形式存在。橙色佛焰苞主要含天竺葵色素,而红色和粉红色则主要含矢车菊色素;类胡萝卜素主要存在于肉穗花序中,呈现亮黄色;叶绿素单独存在或与花青素苷共同存在,使佛焰苞呈现绿色或棕红色<sup>[1-4]</sup>。虽然目前对红掌花色已有了一

定的认识,前期的研究主要集中在个别品种中花青素苷的鉴定方面,缺乏对佛焰苞颜色形成的整体认识。该研究旨在通过对红掌佛焰苞颜色、色素的初步定性和定量分析,研究色素含量与佛焰苞颜色之间的关系,探讨各类色素对红掌佛焰苞呈色的作用。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

该研究所采用的红掌材料为中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所收集、保存的资源。包括切花和盆花,共 23 个品种。材料收集时间为 2011 年 4 月。取样选择无机械损伤、无病虫害的红掌佛焰苞进行试验(表 1)。仪器与试剂:NF333 型分光色差计(日本电色工业株式会社),紫外-可见分光光度计(Hitachi U-2910),Leica PM2500 显微镜。色素定量标准品为购自 Sigma-Aldrich 公司的矢车菊素 3-芸香糖苷和芦丁(槲皮素 3-芸香糖苷)。其余试剂均为分析纯,试验用水为蒸馏水。

### 1.2 试验方法

1.2.1 佛焰苞颜色测定 每个品种取外形大小相似的 3 个佛焰苞,用其中间部分对准分光色差计的集光孔进行测量,求 3 次结果的平均值。若佛焰苞为杂色,则同时要读取佛焰苞中间和边缘的花色值,颜色相差不大的杂色品种‘娜里塔’和‘趣味’,取中间和边缘 2 个位置的平均值。颜色使用国际照明委员会 CIE  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  表色系统,用 3 个参数表示:明度  $L^*$  (0~100),色相  $a^*$  值 (-100~100),色相  $b^*$  值 (-100~100)。明度  $L^*$  从 0 升

**第一作者简介:**杨澜(1990-),女,在读硕士,研究方向为园林植物栽培与生理。

**责任作者:**尹俊梅(1968-),女,本科,研究员,研究方向为热带花卉种质资源与栽培生理。

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31101578);海南省科技成果推广专项资助项目(CGTG20100004);海南省自然科学基金资助项目(311075);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(PZS077);中国热带农业科学院博士启动基金资助项目(PZSB1003)。

**收稿日期:**2012-04-09

至 100 时,表示明度  $L^*$  逐渐增加;色相  $a^*$  值由小变大,表示绿色减退、红色逐渐增强;色相  $b^*$  值的增加会减弱蓝色,加强黄色的表现。彩度  $C^*$  和色相角  $h$  分别根据

公式:  $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  和  $h = \arctan(b^*/a^*)$  计算,彩度  $C^*$  越大表示颜色越鲜艳<sup>[5]</sup>。

表 1

植物材料

Table 1

Plant materials

切花品种 Cut-flower cultivars	盆花品种 Plotted flower cultivars
‘热情’ <i>Anthurium</i> ‘Tropical’、‘开心果’ <i>Anthurium</i> ‘Pistache’	‘红冠军’ <i>Anthurium</i> ‘Red Champion’
‘赛隆’ <i>Anthurium</i> ‘Sirion’、‘出席’ <i>Anthurium</i> ‘Presence’	‘阿拉巴马’ <i>Anthurium</i> ‘Alabama’
‘干杯’ <i>Anthurium</i> ‘Cheers’、‘玛丽西亚’ <i>Anthurium</i> ‘Marysia’	‘祝福’ <i>Anthurium</i> ‘Impreza’
‘玫瑰’ <i>Anthurium</i> ‘Rosa’、‘爱威特黄’ <i>Anthurium</i> ‘Evita Yellow’	‘维他’ <i>Anthurium</i> ‘Vitara’
‘萨维尔’ <i>Anthurium</i> ‘Xavia’、‘趣味’ <i>Anthurium</i> ‘Spice’	‘情迷’ <i>Anthurium</i> ‘Sharade’
‘香水’ <i>Anthurium</i> ‘Essencia’、‘娜里塔’ <i>Anthurium</i> ‘Narita’	‘大哥大’ <i>Anthurium</i> ‘Dakota’
‘卢卡迪’ <i>Anthurium</i> ‘Lukadi’、‘爵士’ <i>Anthurium</i> ‘Baron’	‘粉冠军’ <i>Anthurium</i> ‘Pink Champion’
‘热带之夜’ <i>Anthurium</i> ‘Tropic Night’	‘白雪公主’ <i>Anthurium</i> ‘Baixuegongzhu’

1.2.2 佛焰苞横切面观察 取 4 个色系红掌佛焰苞做切片观察,分别是红色系的‘热带之夜’、‘阿拉巴马’;粉色系的‘萨维尔’、‘粉冠军’;淡黄色系‘玛丽西亚’;绿色系‘开心果’。用刀片横切新鲜红掌佛焰苞中间部分,得到很薄的切片,在 Leica 显微镜下观察色素分布情况。

1.2.3 佛焰苞中色素的初步定性 各取新鲜佛焰苞 0.1 g 剪碎,分别加入 3 种测试液(石油醚、10.0%盐酸水溶液和 25.0%的氨水),各约 5 mL,2 h 后观察加入 25.0%氨水测试液后溶液颜色变化,24 h 后再观察加入石油醚和 10.0%盐酸测试液的溶液颜色变化<sup>[5]</sup>。

1.2.4 佛焰苞中叶绿素的提取与含量测定 参照邹琦<sup>[6]</sup>的提取方法并略有改进:乙酸乙酯萃取除去花青素苷,取上清液定容。测定 470、663 和 645 nm 处的吸光值(OD 值)。叶绿素 a、b 的浓度分别按以下公式计算,3 次重复。叶绿素 a (mg/L) =  $12.7D_{663} - 2.69D_{645}$ ; 叶绿素 b (mg/L) =  $22.9D_{645} - 4.68D_{663}$ ; 叶绿素 a + b (mg/L) =  $20.2D_{645} + 8.02D_{663}$ ; 叶绿素含量 TCh (mg/g FW) = (色素的浓度 × 提取液体积 × 稀释倍数) / 样品鲜重。

1.2.5 佛焰苞中总花青素苷的提取与含量测定 取佛焰苞 0.5~2.0 g,用液氮磨碎,参照吕福梅<sup>[7]</sup>的提取方法并稍有改进:加入 5 mL 含有 0.1%盐酸(v/v)的甲醇溶液提取液于 4℃冰箱中浸置 24 h,隔 12 h 振荡 1 次。过滤到 10 mL 棕色容量瓶中定容,并测定 OD<sub>525</sub> 值。用矢车菊素 3-芸香糖苷的 0.1%盐酸甲醇溶液(0.005、0.010、0.0125、0.020、0.025 mg/mL)绘制标准曲线,求出线性回归方程。计算样品中相对于标准品的总花青素苷含量,结果以 mg/g FW 表示,3 次重复。

1.2.6 佛焰苞中总黄酮含量测定 总黄酮含量的测定采用 AlCl<sub>3</sub> 显色法,以芦丁甲醇溶液(0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL)做标准曲线。吸取 200 μL 提取液或芦丁溶液,依次加入 800 μL 水和 60 μL 5%的 NaNO<sub>2</sub> (w/v) 混匀;5 min 后再加入 120 μL 10%的 AlCl<sub>3</sub> (w/v) 混匀,放置 6 min;加入 400 μL 1 mol/L 的 NaOH 和 500 μL 水混匀,静置 15 min;测定 510 nm 光的吸光值;根据芦丁标准

曲线计算样品中相对芦丁的总黄酮含量,单位:mg/g FW<sup>[8]</sup>,3 次重复。

### 1.3 数据分析

采用 SPSS 13.0 对数据进行单因素方差分析、多重比较以及多元线性回归分析。多重比较采用 Duncan 检验方法,在  $\alpha=0.05$  水平上为显著;多元线性回归分析采用逐步法(Stepwise)。

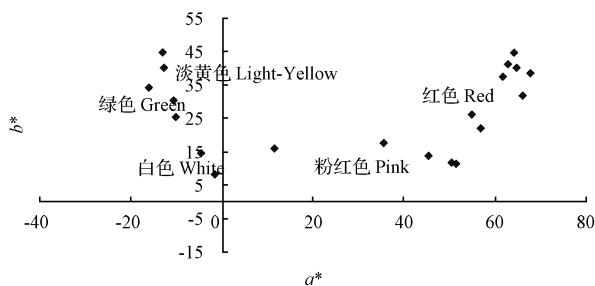
## 2 结果与分析

### 2.1 红掌佛焰苞的颜色

各色系红掌佛焰苞颜色差异显著,根据不同品种在色相  $a^*$ 、 $b^*$  坐标的分布情况,将所测红掌品种归为六大色系,分别是:红色系的‘赛隆’、‘情迷’、‘热情’、‘热带之夜’、‘红冠军’、‘阿拉巴马’、‘祝福’、‘维他’、‘大哥大’,粉红色系的‘干杯’、‘粉冠军’、‘玫瑰’、‘萨维尔’,绿色系的‘卢卡迪’、‘开心果’、‘香水’,白色系的‘出席’、‘白雪公主’,淡黄色系的‘玛丽西亚’、‘爱威特黄’,杂色系的‘趣味’、‘娜里塔’、‘爵士’。分别集中在红色(Red,  $a^*$  35.55~67.64,  $b^*$  17.57~44.84)、粉红色(Pink,  $a^*$  11.49~51.34,  $b^*$  11.26~16.10)、绿色区域(Green,  $a^*$  -9.89~-15.90,  $b^*$  25.35~44.89)、白色(White,  $a^*$  -1.61~-4.43,  $b^*$  8.05~14.71)、淡黄色(Light Yellow,  $a^*$  -12.66~-10.50,  $b^*$  30.24~40.23)区域(图 1)。杂色系品种‘爵士’,边缘绿色部分( $a^* = -21.02$ ,  $b^* = 43.91$ )和中间粉红色部分( $a^* = 36.16$ ,  $b^* = 22.69$ )、‘娜里塔’( $a^* = 51.66$ ,  $b^* = 25.73$ )和‘趣味’( $a^* = 62.67$ ,  $b^* = 35.81$ )未包括在其中。

### 2.2 花色素在佛焰苞中的分布

通过对红色系和粉红色系佛焰苞横切片观察发现,佛焰苞的上下表皮分布着大量的红色色素,可能为花青素苷。除上下表皮外,花青素苷在‘萨维尔’栅栏组织中也有分布。相对于下表皮来说,上表皮积累了更多的色素。而粉红色系中上下表皮积累的花青素苷明显少于红色系。另外,‘热带之夜’栅栏组织中显现黄绿色,可

图1 红掌20个品种在色相  $a^*$ 、 $b^*$  坐标上的分布Fig. 1 Distribution of 20 cultivars of *Anthurium* on  $a^*$ ,  $b^*$  coordinates

能还有少量的叶绿素和类胡萝卜素。淡黄色系的‘玛丽西亚’上下表皮显现淡黄色,可能含有少量的黄酮、黄酮醇类色素。绿色系中主要色素为叶绿素,存在于佛焰苞的栅栏组织中,显现出淡绿色(图2)。

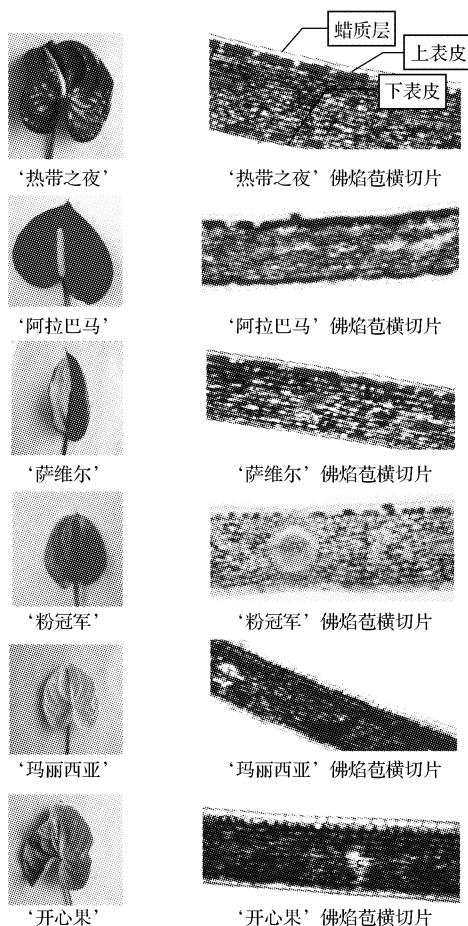


图2 红掌佛焰苞横切片

Fig. 2 The transverse section of *Anthurium spathe*

### 2.3 佛焰苞中花色素的初步定性

盐酸测试显示出不同程度的红色和黄色(表2)。红色系、粉红色系和杂色系品种如‘热情’、‘玫瑰’、‘娜里塔’测试液中出现红色、亮红色或肉桂色,说明佛焰苞中含有花青素苷,否则不含花青素苷。氨水测试中,六大

色系出现黄色、橙黄色和橙红色,说明含有黄酮类色素。红色系‘赛隆’出现浅褐色,意味着含有黄酮醇类化合物。从石油醚测试看出,只有红色系品种‘热带之夜’出现淡黄色,说明有少量类胡萝卜素存在,其余品种都是无色,说明不含类胡萝卜素。

表2 红掌佛焰苞色素类型的测试反应

Table 2 Color reaction of pigment types of *Anthurium spathe*

色系 Color group	品种名 Cultivar	10%盐酸 10% Hydrochloric acid	25%氨水 25% Ammonia water	石油醚 Petroleum ether
红色系 Red group	‘热情’	红色	橙红色	无色
	‘热带之夜’	红色	黄色	淡黄色
	‘红冠军’	红色	橙红黄	无色
	‘阿拉巴马’	红色	黄色	无色
	‘祝福’	红色	橙红色	无色
	‘维他’	红色	黄色	无色
	‘情迷’	亮红色	橙红色	无色
	‘大哥大’	红色	黄色	无色
	‘赛隆’	红色	浅褐色	无色
	‘干杯’	肉桂色	橙黄色	无色
粉红色系 Pink group	‘粉冠军’	亮红色	橙红色	无色
	‘玫瑰’	亮红色	黄色	无色
	‘萨维尔’	亮红色	橙黄色	无色
绿色系 Green group	‘卢卡迪’	淡粉红色	黄色	无色
	‘香水’	极淡黄色	黄色	无色
	‘开心果’	淡粉红色	橙黄色	无色
白色系 White group	‘出席’	极淡黄色	橙红色	无色
	‘白雪公主’	极淡黄色	橙红色	无色
淡黄色系 Light-yellow group	‘玛丽西亚’	浅黄色	橙红色	无色
	‘爱威特黄’	极淡黄色	黄色	无色
杂色系 Bicolor group	‘趣味’	红色	黄色	无色
	‘娜里塔’	红色	黄色	无色
	‘爵士’	黄色	橙黄色	无色

### 2.4 不同品种佛焰苞中的色素含量差异

由表3可知,红色、粉红色和杂色系的红色或粉红色部分含有较多的花青素苷,而绿色、白色、淡黄色和杂色系的绿色部分几乎不含花青素苷。绿色和红色系品种‘热带之夜’中含有较多叶绿素。红色系中的花青素苷与其它色系差异显著;总黄酮含量在白色、杂色和淡黄色系中差异显著,其它色系中差异不显著;叶绿素在杂色系中差异显著。

### 2.5 佛焰苞颜色与花色素的关系

在分析佛焰苞颜色与色素含量之间的相关性时,将23个品种分为2组,1组为红色组,包括红、粉红和杂色系品种的红色和粉红色部分(共15个样本);另1组为绿色和白色组,包括绿、白、淡黄和杂色系品种的绿色部分(共8个样本)。红色组佛焰苞中总花青素苷含量与明度  $L^*$  表现出极显著负相关,与色相  $a^*$  值、色相  $b^*$  值和彩度  $C^*$  呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),即随着总花青素苷含量的增加,佛焰苞的红色色调和黄色色调表现加强,颜色越来越鲜艳,而总黄酮含量与佛焰苞颜色无显著相关(表4),总花青素苷含量与明度  $L^*$  和色相  $a^*$  均能较

表3 红掌佛焰苞总花青素、总黄酮和叶绿素的含量

Table 3 The content of total anthocyanins, flavonoids and chlorophyll of *Anthurium spathe*

色系 Color group	品种名 Cultivar	总花青素 Total anthocyanins /mg·g <sup>-1</sup> FW	总黄酮 Total flavonoids /mg·g <sup>-1</sup> FW	叶绿素 Chlorophyll /mg·g <sup>-1</sup> FW
红色系 Red group	‘热情’	1.542±0.56a	23.59±1.50cdef	0.004±0.001d
	‘热带之夜’	1.605±0.29a	28.23±2.33bcd	0.255±0.056b
	‘红冠军’	1.883±0.14a	29.92±4.11abcd	0.020±0.004d
	‘阿拉巴马’	1.769±0.12a	26.57±0.98cdef	0.014±0.007d
	‘祝福’	1.969±0.34a	32.12±7.09abc	0.022±0.014d
	‘维他’	0.659±0.03bc	23.87±2.67cdef	0.007±0.002d
	‘情迷’	0.756±0.11bc	30.02±3.14abcd	0.009±0.008d
	‘大哥大’	1.530±0.20a	34.75±2.89ab	0.016±0.010d
粉红色系 Pink group	‘赛隆’	0.816±0.77b	30.66±1.16abcd	0.122±0.071c
	‘干杯’	0.006±0.00d	29.83±6.33abcd	0.008±0.001d
	‘粉冠军’	0.367±0.17cd	23.65±5.80cdef	0.007±0.006d
	‘玫瑰’	0.032±0.01d	24.17±3.59cdef	0.040±0.003d
绿色系 Green group	‘萨维尔’	0.020±0.00d	22.22±3.19def	0.016±0.002d
	‘卢卡迪’	0.011±0.01d	23.46±2.46cdef	0.071±0.023cd
	‘香水’	0.013±0.00d	33.95±4.88abcd	0.076±0.001cd
白色系 White group	‘开心果’	0.012±0.00d	20.32±2.54efg	0.295±0.070b
	‘出席’	0.005±0.01d	17.66±5.18fg	0.006±0.002d
杂色系 Bicolor group	‘白雪公主’	0.002±0.00d	22.42±3.43def	0.004±0.001d
	‘趣味’	0.108±0.01d	7.36±1.29h	0.135±0.023c
	‘娜里塔’	0.127±0.02d	35.22±3.60ab	0.334±0.035a
淡黄色系 Light-yellow group	‘爵士’(粉色部分)	0.020±0.01d	27.61±1.32bcde	0.028±0.007d
	‘爵士’(绿色部分)	0.085±0.06d	38.21±9.24a	0.378±0.143a
	‘玛丽西亚’	0.008±0.00d	13.72±9.45gh	0.028±0.003d
	‘爱威特黄’	0.003±0.00d	27.49±1.53bcde	0.015±0.009d

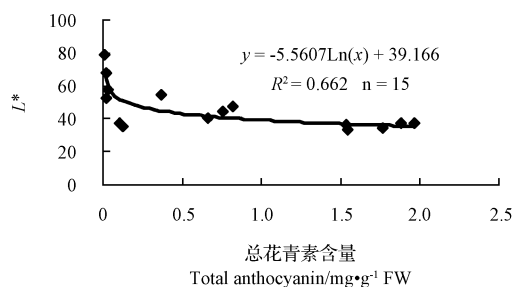
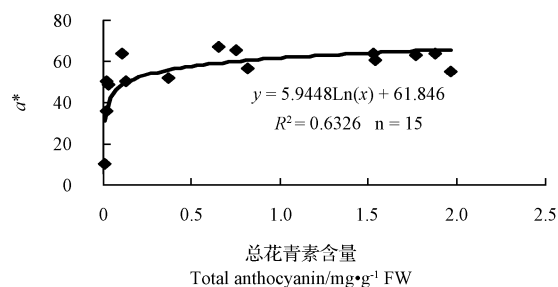
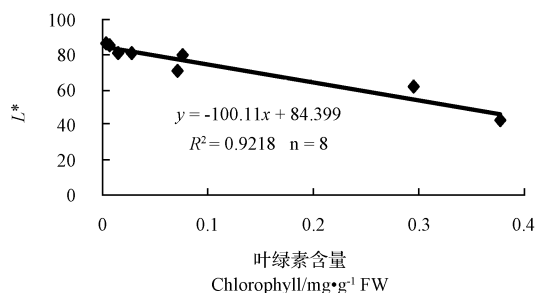
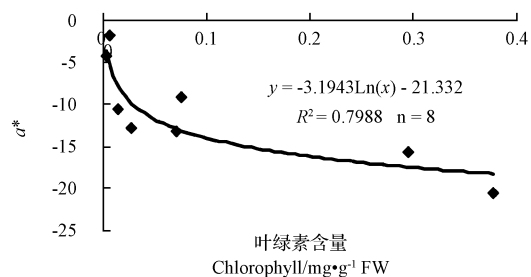
好地拟合为对数曲线(图3~4)。从绿色和白色组红掌佛焰苞颜色与色素的关系中可以发现,总黄酮含量与明度 $L^*$ 呈现极显著的负相关,与色相角 $h$ 表现极显著正相关;叶绿素含量与明度 $L^*$ 和色相 $a^*$ 值呈现极显著的负相关,与色相角 $h$ 呈极显著正相关,且叶绿素含量与这3个颜色参数均能较好地拟合为线性和对数曲线(图5~7),此外,叶绿素含量还与色相 $b^*$ 值和彩度 $C^*$ 表现显著正相关,即叶绿素含量增加使佛焰苞绿色色调和黄色色调的表现增强,颜色变暗而鲜艳程度加强(表4)。

表4 红掌佛焰苞颜色与花色素的关系

Table 4 The relationship between spathe color and pigments of *Anthurium*

花色参数 Flower color parameter	花色素含量 Pigment content					
	总花青素含量 Total anthocyanins content		总黄酮含量 Total flavonoids content		叶绿素含量 Chlorophyll content	
	红色组	绿色和白色组	红色组	绿色和白色组	红色组	绿色和白色组
$L^*$	-0.651**	-0.743**	-0.049	-0.585**	-0.251	-0.897**
$a^*$	0.544**	-0.613**	-0.095	-0.489*	0.011	-0.755**
$b^*$	0.673**	0.401	0.071	0.26	-0.057	0.493*
$C^*$	0.627**	0.441	-0.057	0.297	-0.022	0.540*
$h$	0.158	0.521*	0.203	0.598**	-0.100	0.718**

注: \*代表 $P<0.05$ , \*\*代表 $P<0.01$ 。Note: \*,  $P<0.05$ , \*\*,  $P<0.01$ 。

图3 红色组红掌总花青素含量与明度 $L^*$ 的对数关系Fig. 3 The logarithmic relationship between total anthocyanins content and  $L^*$  of red group图4 红色组红掌总花青素含量与色相 $a^*$ 值的对数关系Fig. 4 The logarithmic relationship between total anthocyanins content and  $a^*$  of red group图5 绿色和白色组红掌叶绿素含量与明度 $L^*$ 线性关系Fig. 5 The linear relationship between chlorophyll content and  $L^*$  of green and white group图6 绿色和白色组红掌叶绿素含量与色相 $a^*$ 值的对数关系Fig. 6 The logarithmic relationship between chlorophyll content and  $a^*$  of green and white group

2.6 佛焰苞颜色参数与色素含量间多元线性回归方程  
通过多元逐步线性回归分析,得到颜色参数明度

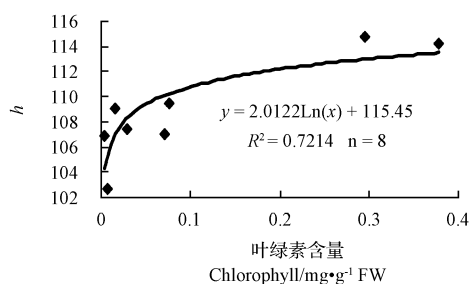


图7 绿色和白色组红掌叶绿素与色相角  $h$  对数关系

Fig. 7 The logarithmic relationship between chlorophyll content and  $h$  of green and white group

$L^*$ 、色相  $a^*$  值、色相  $b^*$  值、彩度  $C^*$  和色相角  $h$  与佛焰苞中总花青素苷(TAC)、总黄酮(TFC)和叶绿素含量(TCh)之间的回归方程。

2.6.1 明度  $L^*$  与花色素含量的关系 红色组中明度  $L^*$  与总花青素苷和叶绿素含量呈负相关,与总黄酮含量呈正相关( $L^* = -14.733TAC - 77.268TCh + 0.549TFC + 47.351, R^2 = 0.617$ )。即总花青素苷与叶绿素含量增加明显使得佛焰苞的明度减弱,总黄酮含量对佛焰苞明度影响不大。绿色和白色组中明度  $L^*$  与叶绿素和总花青素苷含量同样表现负相关( $L^* = -73.886TCh - 167.561TAC + 83.867, R^2 = 0.907$ )。

2.6.2 色相  $a^*$  值与花色素含量的关系 红色组中色相  $a^*$  值与总花青素苷含量呈显著正相关,与总黄酮含量表现为显著负相关( $a^* = 11.542TAC - 0.581TFC + 60.367, R^2 = 0.364$ )。即随着总花青素苷含量的增加,佛焰苞颜色表现越来越红,总黄酮含量的增加会使佛焰苞红色程度略微下降。绿色和白色组中色相  $a^*$  值与叶绿素含量表现为负相关( $a^* = -31.998TCh - 7.727, R^2 = 0.570$ )。即随着叶绿素含量增加,佛焰苞绿色色调加强。

2.6.3 色相  $b^*$  值与花色素含量的关系 红色组中色相  $b^*$  值与总花青素苷含量表现正相关( $b^* = 9.879TAC + 19.917, R^2 = 0.453$ )。即总花青素苷含量增加,佛焰苞蓝色色调减弱。绿色和白色组中叶绿素含量与色相  $b^*$  值为正相关( $b^* = 46.577TCh + 25.813, R^2 = 0.243$ )。叶绿素含量增加,佛焰苞黄色色调加强。

2.6.4 彩度  $C^*$  与花色素含量的关系 红色组佛焰苞的彩度  $C^*$  与总花青素苷含量呈正相关,与总黄酮含量表现负相关( $C^* = 14.681TAC - 0.618TFC + 66.219, R^2 = 0.454$ )。即总花青素苷含量增加会加强佛焰苞的鲜艳程度,而总黄酮含量增加则会有相反的表现。绿色和白色组佛焰苞颜色的鲜艳程度只与叶绿素呈正相关( $C^* = 55.11TCh + 26.952, R^2 = 0.292$ )。随着叶绿素含量的增加,佛焰苞颜色越鲜艳。

2.6.5 色相角  $h$  与花色素含量的关系 绿色和白色组佛焰苞的色相角  $h$  与叶绿素、总黄酮的含量呈现显著的

正相关( $h = 18.922TCh + 0.185TFC + 102.277, R^2 = 0.619$ )。即叶绿素和总黄酮含量的增加都会导致颜色向绿色方向偏移。

### 3 结论与讨论

该研究采用分光色差计对 23 个红掌品种佛焰苞颜色进行测定,根据颜色参数将红掌佛焰苞颜色分为 2 组六大色系:红色组(红、粉红色、杂色系)、绿色和白色组(绿、白、淡黄色系)。在植物的花瓣中,决定颜色表现的主要有类黄酮(包括花青素苷、黄酮、黄酮醇等)、类胡萝卜素和甜菜色素<sup>[9]</sup>。该研究对红掌佛焰苞色素组成的研究发现,红色组主要含有花青素苷、黄酮和黄酮类化合物;绿色系主要含有的色素为叶绿素、黄酮和黄酮醇类化合物;淡黄色系和白色系仅含有黄酮和黄酮醇类化合物。与菊花花瓣中色素组成相似,白色系仅由黄酮和黄酮醇组成;红色系和紫色系的色素是花青苷、黄酮、黄酮醇等<sup>[5]</sup>。虽然前期研究已鉴定出部分红掌品种的花青素苷成分<sup>[1-4]</sup>,但佛焰苞中的黄酮和黄酮醇组成还未见报道。该研究所测品种中只有棕红色的‘热带之夜’中含有少量类胡萝卜素,而前期研究仅见红掌肉穗花序中含有类胡萝卜素的报道<sup>[10]</sup>,关于类胡萝卜素对佛焰苞及花序颜色形成的影响还需要进一步的深入研究。不同类型的花色素在佛焰苞中分布的位置不同。该研究表明花青素苷主要分布在上表皮细胞中,少量分布在下表皮,这与前人研究结果类似<sup>[10]</sup>。但在该研究中发现花青素苷在少数品种如‘萨维尔’的栅栏组织中也有分布,绿色品种中的叶绿素则分布在栅栏组织中。

佛焰苞所含色素的类型和含量影响颜色的表现。前期研究表明不同颜色的佛焰苞中总花青素苷含量有差异<sup>[3]</sup>,但没有建立起色素含量与佛焰苞颜色之间的数量关系。该研究结果显示,影响红掌佛焰苞颜色表现的色素主要为类黄酮和叶绿素,且不同色素类型对佛焰苞呈色的贡献大小不同。红色组中总花青素苷含量与色相  $a^*$  值表现极显著的正相关,表明总花青素苷含量越高,佛焰苞红色色调表现越强。而绿色和白色组中叶绿素含量是影响色相  $a^*$  值的主要因子,随着其含量的增加,色相  $a^*$  值越小,绿色表现越明显。因此,总花青素苷含量的积累有利于红掌佛焰苞颜色向红色方向偏移,叶绿素含量的增加有利于佛焰苞变得更绿。相似地,红色系向日葵中花青苷的积累是其红色花色的成因<sup>[11]</sup>。

不同品种颜色的明度和色调与色素的组成也有很大的关系。在以花青素苷为主导的红色组品种佛焰苞中,总花青素苷含量增加可使颜色加深(明度  $L^*$  降低),且越鲜艳(彩度  $C^*$  增加):如‘阿拉巴马’(鲜红色)的总花青素苷含量(1.77 mg/g FW)高于‘情迷’(浅红色,0.76 mg/g FW),其明度( $L^* = 34.42$ )低于‘情迷’

(44.17);彩度( $C^* = 78.23$ )高于‘情迷’(73.45)。在以叶绿素为主导的绿色品种佛焰苞中,叶绿素含量增加可使颜色加深,且绿色调加强(色相角 $h$ 增加,偏向绿色方向):如‘开心果’(绿色)叶绿素含量(0.26 mg/g FW)高于‘香水’(浅绿色,0.08 mg/g FW),其明度 $L^*$ (61.50)低于‘香水’(77.83),色相角 $h$ (114.81°)大于‘香水’(111.31°)。在以黄酮和黄酮醇为主导的白色品种佛焰苞中,总黄酮含量增加可使黄色调增加(色相角 $h$ 增加,偏向黄色方向):如‘白雪公主’(乳白色)总黄酮含量(22.42 mg/g FW)高于‘出席’(纯白色,17.66 mg/g FW),其色相角 $h$ (106.74°)大于‘出席’(101.45°)。总体上,总花青素苷含量和叶绿素含量的增加可以降低佛焰苞明度 $L^*$ ,增加其鲜艳程度,使其花色呈现多样性,这与菊花花色形成类似<sup>[12]</sup>。在不含叶绿素和花青素苷的白色佛焰苞中,黄酮和黄酮醇影响着其明度。由于黄酮和黄酮醇的结晶体是黄色,可以在适当的环境下影响其它色素的颜色表现,即辅助着色作用<sup>[13]</sup>,在其它有色品种中,可能作为辅助色素影响佛焰苞颜色的表现。

通过对红掌佛焰苞颜色、色素的初步定性和定量分析,揭示了佛焰苞中色素种类及含量对其呈色的作用。同时,也对佛焰苞颜色的形成有了整体认识。这将为下一步阐明红掌花色形成机理奠定一定的理论基础,并为其花色育种工作提供一定的参考依据。

## 参考文献

- [1] Iwata R Y, Tang C S, Kamemoto H. Anthocyanins of *Anthurium andraeanum* Lindl[J]. J Amer Soc Hort Sci, 1979, 104: 464-466.
- [2] Marutani M, Tang C S, Paull R, et al. Anthocyanins in the lavender *Anthurium*[J]. Hortscience, 1987, 22(4): 620-622.
- [3] Iwata R Y, Tang C S, Kamemoto H. Concentration of anthocyanins affecting spathe colors in *Anthuriums*[J]. J Amer Soc Hort Sci, 1985, 110(3): 383-385.
- [4] 丛汉卿,徐立,信彩云,等.红掌突变体花青素含量的测定与比较[J].安徽农业科学, 2009, 37(17): 7832-7834.
- [5] 白新祥,胡可,戴思兰,等.不同花色菊花品种花色成分初步分析[J].北京林业大学学报, 2006, 28(5): 84-89.
- [6] 邹琦.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社, 2004: 134-137.
- [7] 吕福梅.四种李属彩叶树木叶片色素及光合特性研究[D].泰安:山东农业大学, 2005: 17-18.
- [8] Tulipani S, Mezzetti B, Capocasa F, et al. Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes[J]. J. Agric. Food Chem, 2008, 56: 696-704.
- [9] 傅荣昭,马江生,曹光诚,等.观赏植物色香基因工程研究进展[J].园艺学报, 1995, 22(4): 381-385.
- [10] Collette V. *Anthurium aristocracy*[J]. New Zealand Garden Journal, 2004(7): 2-5.
- [11] 张圆圆,齐冬梅,刘辉,等.观赏向日葵的花色多样性及其与花青苷的关系[J].园艺学报, 2008, 35(6): 863-868.
- [12] 白新祥.菊花花色形成的表型分析[D].北京:北京林业大学, 2007: 88-89.
- [13] 黄敏展.亚热带花卉学总论[M].台中:黄敏展出版, 2002: 123-124.

## The Relationship between Pigment and Coloration of *Anthurium* Spathe

YANG Lan<sup>1,2</sup>, LI Chong-hui<sup>2</sup>, HUANG Su-rong<sup>2</sup>, CHEN Jin-hua<sup>2</sup>, WANG Cun<sup>2</sup>, YIN Jun-mei<sup>2</sup>

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Hainan University, Haikou, Hainan 570100; 2. Institute of Tropical Crops Genetic Resources, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Key Laboratory of Crop Gene Resources and Germplasm Enhancement in Southern China, Ministry of Agriculture, Danzhou, Hainan 571737)

**Abstract:** The spathe color of 23 cultivars of *Anthurium* were divided into six groups: red, pink, green, white, yellow and mixed color group. The distribution of flower pigments in the Spathe tissue was observed and the flower pigments in Spathes were generally identified and quantified. The results indicated that flower pigments of Spathe mainly included flavonoids (including anthocyanins, flavones, and flavonols), chlorophyll, and carotenoids. The flavonoids of most cultivars mainly distributed in the both upper and lower epidermal cells, also in palisade tissue of some cultivars' Spathes such as 'Xavia'. The chlorophyll and carotenoids were found in the palisade tissues. All cultivars tested contained flavonoids. The red Spathes contained more anthocyanins than other cultivars, besides, the green Spathes contained chlorophyll. Only in Spathe of 'Tropical Night', a little carotenoids were detected. The anthocyanins and chlorophyll were key factors for Spathe coloration. In general, total anthocyanins content (TAC) and chlorophyll content (TCh) showed negative correlation with color lightness ( $L^*$ ), while the positive correlation with chroma ( $C^*$ ). In red and pink spathes, the increase of TAC could enhance the red hue; while in green and white Spathes, the accumulation of chlorophyll might strengthen the green and yellow hue.

**Key words:** *Anthurium*; Spathe; flower pigments; coloration