

# 海南地区红掌佛焰苞“绿耳”发生的生理原因

王兰兰<sup>1,2</sup>, 杨光穗<sup>1</sup>, 李崇晖<sup>1</sup>, 王荣香<sup>1</sup>, 黄素荣<sup>1</sup>, 王 存<sup>1</sup>, 尹俊梅<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup>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; <sup>2</sup>海南大学园艺园林学院, 海口 570228)

**摘 要:** 针对海南地区秋冬季露天栽培的红掌佛焰苞耳部变绿(俗称“绿耳”)的问题, 对比研究了不同季节佛焰苞发育过程中的颜色及相关的生理变化。结果表明: 9月至翌年2月, 佛焰苞耳部颜色变绿, 其颜色参数 $a^*$ 明显低于3~8月颜色正常季节; 总花青素苷、总黄酮、可溶性蛋白、可溶性糖和钾含量总体上低于颜色正常季节; 而叶绿素含量及发育前期的PPO活性高于正常季节。推测导致佛焰苞颜色变绿的直接因素是其中花青素苷和叶绿素的合成比例发生了变化, 间接生理原因可能是可溶性蛋白和可溶性糖含量不足, 阻碍了花青素苷合成, 同时又受到PPO的降解作用, 总花青素苷含量下降, 而佛焰苞中氮元素积累量较多, 更有利于叶绿素的合成, 出现“绿耳”。

**关键词:** 红掌; 佛焰苞; 颜色; 生理变化

**中图分类号:** S 682.14

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2012) 05-0939-10

## The Physiological Cause of “Green Ear” of Anthurium Spathe at Hainan Island

WANG Lan-lan<sup>1,2</sup>, YANG Guang-sui<sup>1</sup>, LI Chong-hui<sup>1</sup>, WANG Rong-xiang<sup>1</sup>, HUANG Su-rong<sup>1</sup>, WANG Cun<sup>1</sup>, and YIN Jun-mei<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup>Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Key Laboratory of Crop Gene Resources and Germplasm Enhancement in Southern China, Ministry of Agriculture, Danzhou, Hainan 571737, China; <sup>2</sup>College of Horticulture and Landscape Architecture, Hainan University, Haikou 570228, China)

**Abstract:** As the color of anthurium spathes turn green seasonally during the cultivation in Hainan island, the changes of color and the related physiological factors of the spathes during the development in two periods (normal and green) were compared. The results showed that in green season, the color parameter  $a^*$  in the ear part of spathe was significantly lower than that in normal season; The contents of total anthocyanins, total flavonoids, soluble protein, soluble sugar, and mineral element potassium were generally lower than normal; the chlorophyll content and PPO activity in early developmental stage were higher than normal. We speculated that the changes of the anthocyanin/chlorophyll content ratio directly caused the spathe turning green. While in the physiological level, the shortage of soluble protein and sugar hindered the anthocyanin synthesis. Meanwhile, due to the degradation activity of PPO, anthocyanin content decreased. Thus, spathes had to increase the synthetic amount of chlorophyll in order to supply the

收稿日期: 2011-12-29; 修回日期: 2012-03-29

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(31101578); 海南省自然科学基金项目(311075); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(PZS077); 海南省科技成果示范推广专项项目(CGTG20100004); 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所导师基金项目

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: yinjunmei2004@yahoo.com.cn)

photosynthesis products, the green tone of spathe presented. And the accumulation of nitrogen in spathe was benefit for the chlorophyll synthesis.

**Key words:** *Anthurium andraeanum*; spathe; color; physiological changes

红掌 (*Anthurium andraeanum* Linden) 又名安祖花, 阔心形佛焰苞是其主要观赏部位。自 20 世纪 90 年代以来, 红掌已成为海南省切花与盆花的主打产品之一。海南种植红掌只需遮阳设施, 不需加温设备, 投入较低, 便于规模化生产。然而海南地区露天栽培的红掌在 9 月至翌年 2 月之间普遍出现佛焰苞耳部变绿 (俗称“绿耳”) 的现象 (图 1), 严重影响商品花的质量和销量。

前人对红掌佛焰苞颜色的研究发现, 缺钙植株的佛焰苞颜色衰退, 而增加钙就能得到改善 (Higaki et al., 1980); 光照是引起红掌佛焰苞变浅的主要因素, 通过一定浓度的钙加赤霉素处理可以抑制此现象的发生 (夏春华, 2001)。考虑到该现象是季节性发生的, 本试验中拟通过分析红掌佛焰苞在不同季节 (变绿季节和颜色正常季节) 发育过程中的颜色变化及与花色相关的生理指标, 在生理水平找出其季节性变绿的原因, 为抑制或避免这一现象的发生提供一定的理论基础。



图 1 红掌变绿佛焰苞 (左) 与正常佛焰苞 (右)

Fig. 1 Green anthurium spathe (left) and normal anthurium spathe (right)

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

选取中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所花卉中心降温防雨大棚中生长的盆栽红掌 (*Anthurium andraeanum*) 品种 ‘大哥大’ 2 年生正常开花苗。将佛焰苞自抽出到成熟分为 9 个阶段。1: 花梗长 0~0.5 cm; 2: 花梗长 4~5 cm; 3: 花梗长 7~8 cm; 4: 花梗长 12~13 cm; 5: 佛焰苞卷曲松弛待展开; 6: 佛焰苞展开 1/2; 7: 佛焰苞完全展开且肉穗花序黄色; 8: 佛焰苞完全展开且肉穗花序 1/2 变白色; 9: 佛焰苞完全展开且肉穗花序 2/3 变白色 (图 2)。2010 年 11—12 月采集不同开花阶段变绿的佛焰苞, 2011 年 4—5 月采集颜色正常的佛焰苞, 均于晴天 9:00—10:00 采集。



图 2 变绿红掌 (左) 和正常红掌 (右) 花发育阶段

Fig. 2 The development stages of green anthurium flower (left) and normal anthurium flower (right)

## 1.2 测定

### 1.2.1 取样

每个阶段取 5 个佛焰苞, 用于颜色测定。取 3 个经颜色测定后的第 9 阶段的佛焰苞, 用于色素的简易定性分析。每个阶段测定过颜色的佛焰苞从中间纵向分为两半, 对应编号, 称质量后经液氮速冻, 放入  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱保存备用。类黄酮(包括总花青素苷和总黄酮)含量和叶绿素含量的测定对应用同一佛焰苞的两半; 可溶性糖含量和可溶性蛋白含量的测定亦然; 测定 PPO 活性另外选取一半佛焰苞, 另一半及其他剩余的大量佛焰苞装入纸袋, 置于  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  鼓风干燥箱中烘干, 用于矿质元素氮、磷、钾、钙、镁含量的测定。采用 SAS9.0 软件进行统计分析; 采用 OriginPro7.5 软件进行作图。

### 1.2.2 佛焰苞颜色测定

用分光色差计(型号 NF333)测定佛焰苞正面的颜色(明度  $L^*$  值、色相  $a^*$  值和  $b^*$  值), 取 5 个数据的平均值。考虑到变绿季节佛焰苞耳部和中间的颜色不同, 故分别测定佛焰苞中间及耳部的颜色。通过明度  $L^*$  值、色相  $a^*$  值和  $b^*$  值, 计算出彩度  $C^*$  值,  $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ 。  $L^*$  值从 0 到 100, 表示颜色的明度随数值增加逐渐增加;  $a^*$  值由小变大, 代表绿色逐渐减退, 红色逐渐增强;  $b^*$  值的增大意味着蓝色逐渐消退, 黄色逐渐增强(Voss, 1992; Wang et al., 2004; 白新祥等, 2006), 由于正常或“绿耳”佛焰苞颜色差异在于红色和绿色的表现程度不同, 因此, 本研究只分析了与红色和绿色关系最大的色相  $a^*$  值(葛雨萱等, 2011)。

### 1.2.3 佛焰苞色素简易定性及定量分析

参照安田齐(1989)的方法进行石油醚、盐酸酸化的甲醇和氨水测试, 初步鉴定佛焰苞中是否存在类胡萝卜素和类黄酮。取 0.5 g 佛焰苞研碎放入离心管中, 分别加石油醚、10% 盐酸和 30% 氨水各 5 mL 浸泡材料, 观察颜色。

取  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱中保存的材料, 用液氮磨碎, 用 0.1% 盐酸甲醇在  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  下浸提 24 h, 过滤, 得到花色素提取液。总花青素苷的测定为利用紫外—可见分光光度计(U-2910)测定 525 nm 处的吸光值, 利用标准品矢车菊素 3-芸香糖苷做标准曲线, 总花青素苷含量以  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$  表示。重复 3 次。采用氯化铝显色法(Qiu et al., 2010)总黄酮含量, 利用标准品芦丁做标准曲线, 以  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$  表示。重复 3 次。

取  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱中保存的材料, 用 80% 丙酮研磨提取叶绿素(邹琦, 2004), 提取液过滤入试管中, 加入乙酸乙酯萃取分层除去花青素苷(花青素苷被萃取到下层液体), 将上层液体转移到容量瓶中, 再用 80% 丙酮定容, 测定 663 nm 和 645 nm 处的吸光值, 然后计算色素含量, 以  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$  表示。重复 3 次。

### 1.2.4 佛焰苞代谢物含量及 PPO 活性测定

采用蒽酮比色法(张志良和瞿伟菁, 2003)测定可溶性糖含量, 重复 3 次。

采用考马斯亮蓝 G-250 法(Bradford, 1976)测定可溶性蛋白含量, 重复 3 次。

磷酸缓冲液(pH 6.5)提取粗酶液, 反应体系中加 0.2 mL 酶液, 2 mL 磷酸缓冲液, 1 mL  $1.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  邻苯二酚溶液(对照以 1 mL 蒸馏水代替)。  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  水浴中保温 10 min, 加 2 mL 20% 三氯乙酸终止反应, 测定  $\text{OD}_{410\text{ nm}}$ 。酶活性以每分钟光密度变化 0.001 为一个单位(Almudena & Pilar, 1998; 李忠光和龚明, 2005), 重复 3 次。

计算公式:  $\text{PPO 活性} (\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = \text{OD}_{410} \times V / (a \times 0.001 \times W \times t)$ 。其中,  $V$  为提取粗酶液总体积(mL),  $a$  为测定时取用粗酶体积(mL),  $W$  为样品重量(g),  $t$  为反应时间(min)。

### 1.2.5 佛焰苞矿质元素含量测定

参照鲁如坤(1999)的方法, 利用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICPS-7500)测定佛焰苞中钾、

钙、镁含量, 钼锑抗比色法测磷元素含量, 纳氏比色法测氮元素含量。测定结果以占干物质的质量表示, 单位为  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 重复 3 次。

## 2 结果与分析

### 2.1 红掌佛焰苞在不同季节发育过程中色相 $a^*$ 值的变化

在佛焰苞颜色正常的季节, 红掌佛焰苞耳部和中间部位的色相  $a^*$  值均高于变绿季节, 二者耳部  $a^*$  值差异更显著 (图 3)。

在颜色正常季节, 花发育过程中耳部  $a^*$  值变化较平稳, 且都为正值; 在变绿季节, 发育过程中佛焰苞耳部色相  $a^*$  值变化大, 在第 5~9 阶段均出现了负值, 重复间误差大, 这与佛焰苞变绿程度不一致有关。

综合比较 4 组数据, 除变绿季节佛焰苞耳部  $a^*$  值最低外, 颜色正常季节佛焰苞耳部和中间的  $a^*$  值与变绿季节中间  $a^*$  值均在 40 以上, 且变化较平稳。

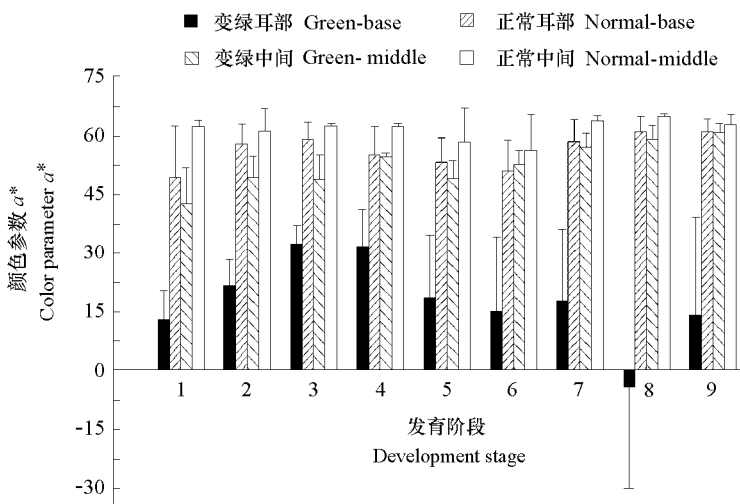


图 3 变绿季节和正常季节红掌佛焰苞不同发育阶段颜色参数  $a^*$  的变化  
Fig. 3 The changes of color parameter  $a^*$  in different development stages of anthurium spathe in green and normal seasons

### 2.2 红掌佛焰苞中色素的初步定性

佛焰苞石油醚浸泡液为无色, 说明佛焰苞中没有类胡萝卜素; 10% 盐酸浸泡液显示红色, 说明其中含有花青素苷; 氨水浸泡液显示黄色, 说明其中含有黄酮和黄酮醇。

### 2.3 红掌佛焰苞在不同季节发育过程中色素含量的变化

由图 4 可以看出, 佛焰苞发育过程中无论是在颜色正常季节还是变绿季节, 总花青素苷含量均呈现先上升后下降的趋势。颜色正常季节总花青素苷含量最大值出现在第 7 阶段, 变绿季节出现在第 6 阶段。总花青素苷含量在变绿季节除了第 3、6 阶段略高于颜色正常季节外, 其他阶段均低于正常季节。在变绿季节佛焰苞的发育过程中叶绿素含量有上升趋势, 第 6 阶段达到最高。

颜色正常季节叶绿素含量变化平稳, 且每个发育阶段均明显低于变绿季节。变绿季节的佛焰苞

中, 叶绿素和总花青素苷含量之比在不同发育阶段发生着变化, 整体上叶绿素所占比例呈先下降后升高的趋势, 由发育初期的约 0.96, 到中期的 0.40, 至第 9 阶段达到最高 1.89; 相比之下, 正常季节佛焰苞中叶绿素和总花青素苷含量之比很低, 在 0.01 ~ 0.11 之间。

在颜色正常季节, 随着佛焰苞发育, 总黄酮含量变化平稳, 由第 7 ~ 9 阶段总黄酮含量开始有下降趋势; 在变绿季节总黄酮含量不稳定, 但同样在第 7 ~ 9 阶段含量下降。总体上, 变绿季节总黄酮含量均低于颜色正常季节。

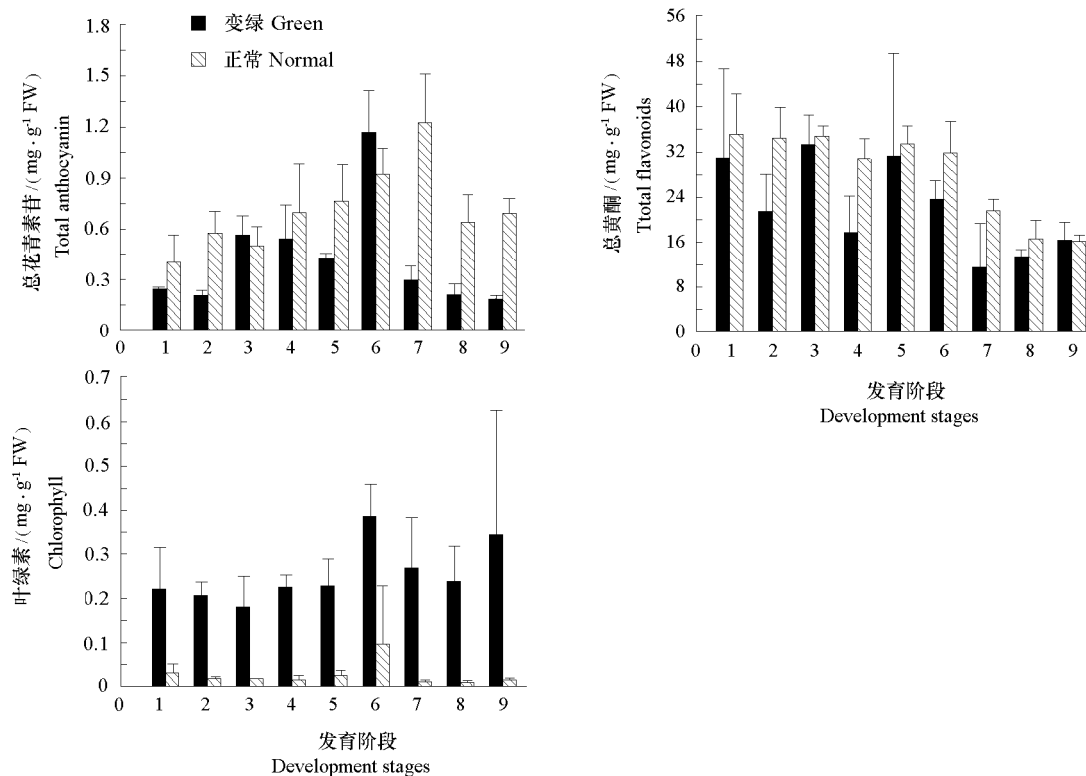


图 4 颜色正常季节和变绿季节红掌佛焰苞不同发育阶段总花青素苷、叶绿素和总黄酮含量的变化

Fig. 4 The changes of total anthocyanin, chlorophyll and total flavonoids content in different development stages of anthurium spathe in normal and green seasons

## 2.4 红掌佛焰苞在不同季节发育过程中可溶性蛋白、可溶性糖含量和 PPO 活性的变化

由图 5 可以看出, 在变绿季节佛焰苞中的可溶性蛋白含量均明显低于颜色正常季节, 并且在发育过程中呈先上升后下降的趋势, 其中在第 6 阶段含量达到最大。颜色正常季节可溶性蛋白含量变化呈峰值交替出现的趋势, 佛焰苞发育的最后两个阶段较低于其他阶段。

在颜色正常季节, 佛焰苞可溶性糖含量在发育前期 (第 1 ~ 4 阶段) 均高于变绿季节, 第 5、6 阶段低于变绿季节, 到第 7、8、9 阶段基本持平。

PPO 活性与花青素苷的降解有关, 变绿季节酶活在前 6 个发育阶段均高于颜色正常季节, 发育后期与颜色正常季节差别不大 (图 5)。

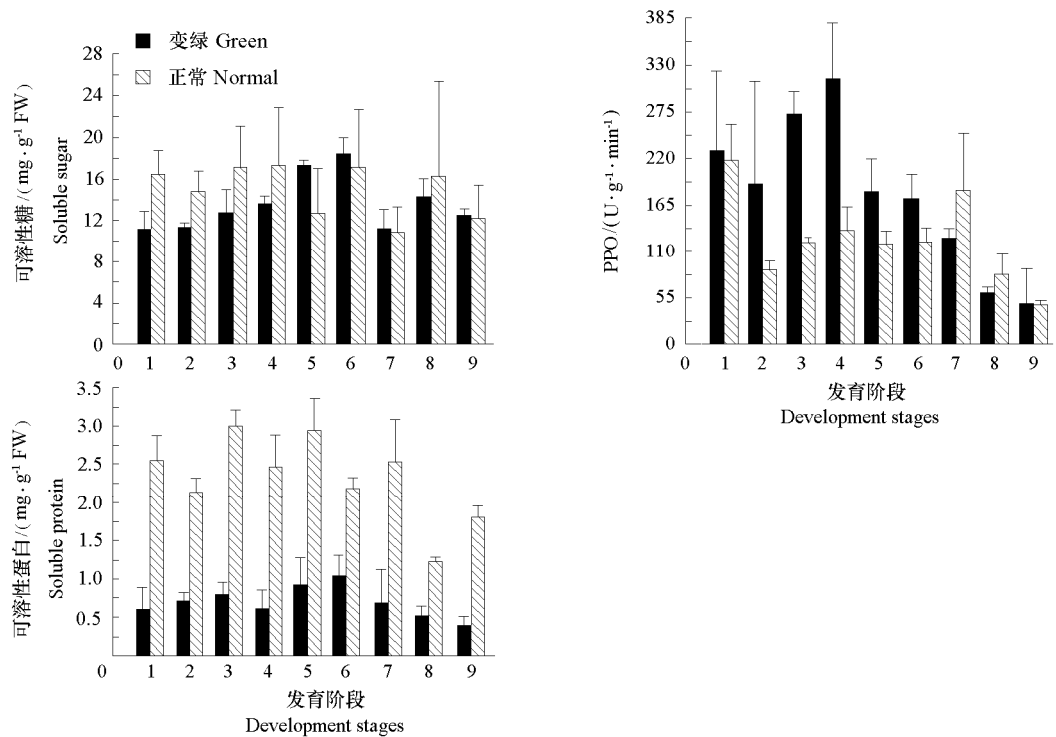


图 5 颜色正常季节和变绿季节红掌佛焰苞不同发育阶段可溶性蛋白和可溶性糖含量及 PPO 活性的变化

Fig. 5 The changes of soluble protein, soluble sugar content and polyphenol oxidase activity in different development stages of anthurium spathe in normal and green seasons

2.5 红掌佛焰苞在不同季节发育过程中矿质元素含量的变化

如表 1、表 2 所示，正常季节红掌佛焰苞中钾的含量均高于变绿季节；氮、磷、镁、钙含量正常季节和变绿季节差异不显著，但是各阶段氮元素的平均含量在正常季节（10.20 mg · g<sup>-1</sup>）低于变绿季节（12.38 mg · g<sup>-1</sup>），磷元素各阶段平均含量在正常季节（2.80 mg · g<sup>-1</sup>）略高于变绿季节（2.28 mg · g<sup>-1</sup>），镁元素各阶段平均含量在正常季节（0.17 mg · g<sup>-1</sup>）略高于变绿季节（0.13 mg · g<sup>-1</sup>），钙元素各阶段平均含量在正常季节（0.15 mg · g<sup>-1</sup>）略高于变绿季节（0.12 mg · g<sup>-1</sup>）。

表 1 颜色正常季节和变绿季节红掌佛焰苞不同发育阶段氮、磷、钾含量的变化

Table 1 The changes of nitrogen, phosphorus and potassium contents in different development stages of anthurium spathe in green and normal seasons / (mg · g<sup>-1</sup>)

阶段 Stage	氮元素 Nitrogen		磷元素 Phosphorus		钾元素 Potassium	
	变绿季节 Green season	正常季节 Normal season	变绿季节 Green season	正常季节 Normal season	变绿季节 Green season	正常季节 Normal season
1	4.08 ± 1.03 a	3.43 ± 0.08 a	2.78 ± 0.11 b	3.72 ± 0.55 a	23.63 ± 2.49 b	31.31 ± 1.48 a
2	4.14 ± 0.37 b	22.33 ± 0.89 a	2.86 ± 0.34 a	2.17 ± 0.85 a	25.45 ± 5.81 a	38.58 ± 13.15 a
3	28.10 ± 1.24 a	4.72 ± 0.98 b	2.59 ± 0.33 a	3.08 ± 0.17 a	22.94 ± 3.26 a	29.65 ± 9.34 a
4	26.90 ± 2.41 a	14.45 ± 0.41 b	2.57 ± 0.20 a	2.49 ± 0.21 a	28.45 ± 0.89 a	31.20 ± 6.87 a
5	4.17 ± 0.52 b	24.53 ± 0.13 a	2.22 ± 0.04 a	2.95 ± 0.85 a	26.16 ± 13.46 a	31.04 ± 7.34 a
6	23.11 ± 0.98 a	6.03 ± 0.32 b	2.11 ± 0.27 a	3.02 ± 0.83 a	22.71 ± 3.01 b	28.22 ± 1.39 a
7	6.93 ± 0.24 a	5.79 ± 0.44 b	1.66 ± 0.02 a	2.33 ± 0.83 a	24.34 ± 0.79 a	26.33 ± 3.92 a
8	6.13 ± 0.91 a	4.20 ± 0.09 b	1.85 ± 0.07 a	2.80 ± 0.86 a	27.16 ± 1.11 a	35.79 ± 13.34 a
9	7.90 ± 1.21 a	6.32 ± 1.98 a	1.91 ± 0.07 a	2.62 ± 0.49 a	25.39 ± 5.06 a	24.99 ± 6.58 a

注：含量表示为平均值 ± 标准差。同一行同一元素中不同小写字母表示多重比较 Duncan's 检验在 P = 0.05 显著性水平下的不同显著性差异。

Note: The contents are expressed as mean ± SD (standard deviation). Different lower case letters in the same line of the same element show the different significant differences at P = 0.05 level in Duncan's test.

表 2 颜色正常季节和变绿季节红掌佛焰苞不同发育阶段镁和钙含量的变化  
Table 2 The changes of magnesium and calcium in different development stages of anthurium spathe contents in green and normal seasons / (mg · g<sup>-1</sup>)

阶段 Stage	镁元素 Magnesium		钙元素 Calcium	
	变绿季节 Green season	正常季节 Normal season	变绿季节 Green season	正常季节 Normal season
1	0.28 ± 0.01 a	0.18 ± 0.11 a	0.20 ± 0.01 b	0.24 ± 0.02 a
2	0.21 ± 0.06 a	0.12 ± 0.03 a	0.12 ± 0.02 b	0.20 ± 0.01 a
3	0.19 ± 0.03 a	0.12 ± 0.01 b	0.13 ± 0.01 b	0.19 ± 0.01 a
4	0.15 ± 0.03 a	0.12 ± 0.01 a	0.11 ± 0.01 b	0.16 ± 0.01 a
5	0.15 ± 0.06 a	0.15 ± 0.09 a	0.12 ± 0.02 a	0.12 ± 0.01 a
6	0.16 ± 0.06 a	0.11 ± 0.02 a	0.09 ± 0.01 b	0.12 ± 0.02 a
7	0.12 ± 0.02 a	0.13 ± 0.04 a	0.11 ± 0.01 a	0.10 ± 0.01 a
8	0.17 ± 0.07 a	0.12 ± 0.03 a	0.08 ± 0.04 a	0.13 ± 0.02 a
9	0.10 ± 0.01 a	0.10 ± 0.04 a	0.09 ± 0.04 a	0.07 ± 0.01 a

注：含量表示为平均值 ± 标准差。同一行同一元素中不同小写字母表示多重比较 Duncan's 检验在  $P = 0.05$  显著性水平下的不同显著性差异。

Note: The contents are expressed as mean ± SD (standard deviation). Different lower case letters in the same line of the same element show the different significant differences at  $P = 0.05$  level in Duncan's test.

3 讨论

3.1 红掌“绿耳”佛焰苞的直观表现

在 CIEL<sup>\*</sup>*a*<sup>\*</sup>*b*<sup>\*</sup> 表色系统中，*a*<sup>\*</sup> 值的由小到大意味着绿色减退、红色增强，因此色相 *a*<sup>\*</sup> 可以直接反映佛焰苞红色程度以及变绿情况。“绿耳”佛焰苞颜色直接体现在耳部红色色调明显低于颜色正常季节佛焰苞，中间颜色差异不大。颜色数据分析中发现佛焰苞彩度 *C*<sup>\*</sup> 在变绿季节 (*C*<sup>\*</sup> 值平均为 43.63) 明显低于正常季节 (*C*<sup>\*</sup> 值平均为 63.63)。可见，在变绿季节，佛焰苞除了颜色变化外，其色泽品质也有所降低。

3.2 红掌佛焰苞变绿现象发生的阶段及内部色素相对含量的变化

红掌佛焰苞出现“绿耳”是从花发育一开始就发生了，随着佛焰苞的发育，“绿耳”部分面积增大。用于叶绿素和总花青素苷含量测定的材料均来自同一佛焰苞，因此可以反映整个佛焰苞中叶绿素与总花青素苷的含量及组成比例的变化。从本文研究结果可知，佛焰苞出现“绿耳”是由于其中色素含量和比例发生了变化，即由叶绿素含量较高、总花青素苷含量相对较低造成的，这与前人在紫叶李 (史宝胜, 2006)、枫香 (胡敬志 等, 2007)、红栌 (聂庆娟 等, 2008) 等彩叶植物叶片呈色机理研究结论一致。红掌的佛焰苞是一种变态叶，故与彩叶植物叶色形成有一定的相似之处。

在红掌佛焰苞发育的第 6 ~ 7 阶段，佛焰苞总花青素苷含量达到最高，之后降低。这可能是由于佛焰苞展开后暴露在日光下引起了色素的降解和氧化，与腊梅花青素的变化规律相似 (葛雨萱 等, 2008)。此外，在变绿季节，前 6 个发育阶段的 PPO 活性均高于颜色正常季节，说明佛焰苞变绿不仅与其中合成了大量叶绿素有关，还可能与花青素苷被降解有关。

3.3 佛焰苞中的代谢物对色素积累的影响

本研究中发现颜色正常季节和变绿季节红掌佛焰苞中可溶性蛋白含量与总花青素苷含量在发育阶段中的变化趋势一致，即发生“绿耳”的佛焰苞总蛋白含量小于正常季节。而前期研究表明大部分可溶性蛋白质是植物体内具有活性的酶类，可参与叶片中的色素、糖和酶类的合成与转化，从而促进叶片如红栌 (聂庆娟 等, 2008)、紫叶李 (史宝胜, 2006) 中花青素苷的积累。因此认为，

“绿耳”佛焰苞中与花青素苷合成相关的酶量降低可导致花青素苷积累减少。

糖是花青苷合成的必需成分 (Hara et al., 2004), 在紫叶稠李和紫叶桃 (王庆菊, 2007)、黄连木 (胡静静 等, 2010)、红檵木 (唐前瑞 等, 2006)、美国红栎 (聂庆娟 等, 2008) 等彩叶植物叶片中均发现可溶性糖与总花青素苷含量呈显著的正相关; 当碳水化合物储备不足时, 花青苷上的糖苷键还可以通过简单的水解, 以此为植物体迅速补充能量 (吕福梅, 2005)。本研究结果表明, 佛焰苞中的可溶性糖积累发生在总花青素苷峰值之前, 可见在颜色正常季节佛焰苞发育初期大量积累的可溶性糖有利于花青素苷的积累, 使其含量高于变绿季节。

### 3.4 佛焰苞中钾元素对花青素苷积累的影响

本研究结果表明, 佛焰苞中总花青素苷含量多时, 其中钾元素含量也较高, 因此佛焰苞内钾元素的积累可以提高总花青素苷含量, 这与前人对紫叶稠李 (王庆菊 等, 2007)、中华红叶杨 (李小康 等, 2008) 的研究结果一致。推测原因可能是因为钾元素能促进蛋白质的合成, 促进糖的合成和运输 (郭衍银 等, 2003), 从而促进了花青素苷的积累。因此, 可以考虑在变绿季节增施钾肥来促进花青素苷合成。

### 3.5 推测红掌“绿耳”的生理因素

可溶性蛋白与可溶性糖的积累有利于花青素苷的合成。叶绿素在植物光合作用的原初光反应过程中起着关键作用, 其含量的变化与叶片的生理活性、植物对环境的适应性和抗逆性以及叶色的表达有关 (苏行 等, 2002)。由以上两点推测红掌“绿耳”可能是佛焰苞中的营养物质积累少, 参与花青素苷合成的酶量和糖源不足, 阻碍花青素苷合成, 使其积累量减少; 而在植株正常叶片合成营养物质少的情况下, 佛焰苞作为一种变态叶, 为适应气候环境积累叶绿素, 以补充叶片光合作用, 满足植株的营养需求。此外, 由于变绿季节的佛焰苞中积累氮素较多, 更有利于叶绿素合成。

## References

- Almudena H, Pilar C M. 1998. High-pressure and temperature effects on enzyme inactivation in tomato puree. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46 (1): 266 - 270.
- Bai Xin-xiang, Hu Ke, Dai Si-lan. 2006. Comparison of different methods in flower color measurement of ornamental plants// Zhang Qi-xiang. *China ornamental horticulture research*. Beijing: China Forestry Publishing House: 543 - 548. (in Chinese)
- 白新祥, 胡 可, 戴思兰. 2006. 不同测色方法在观赏植物花色测定上的比较//张启翔. *中国观赏园艺研究进展*. 北京: 中国林业出版社: 543 - 548.
- Bradford M M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytic Biochemistry*, 72: 248 - 254
- Ge Yu-xuan, Wang Liang-sheng, Xu Yan-jun, Liu Zheng-an, Li Chong-hui, Jia Ni. 2008. Flower color, pigment composition and their changes during flowering in *Chimonanthus praecox* Link. *Acta Horticulturae Sinica*, 35 (9): 1331 - 1338. (in Chinese)
- 葛雨萱, 王亮生, 徐彦军, 刘政安, 李崇晖, 贾 妮. 2008. 蜡梅的花色和花色素组成及其在开花过程中的变化. *园艺学报*, 35 (9): 1331 - 1338.
- Ge Yu-xuan, Wang Liang-sheng, Zhou Xiao-hong, Gan Chang-qing. 2011. Correlation between the leaf color and pigments composition of *Cotinus coggygia* in Fragrant Hills Park and their temporal and spatial variation. *Scientia Silvae Sinicae*, 47 (4): 38 - 42. (in Chinese)
- 葛雨萱, 王亮生, 周肖红, 甘长青. 2011. 香山黄栌叶色和色素组成的相互关系及时空变化. *林业科学*, 47 (4): 38 - 42.
- Guo Yan-yin, Xu Kun, Wang Xiu-feng, Zhu Yan-hong. 2003. Research progress on the mechanism of plant disease related to mineral nutrition. *Journal of Gansu Agricultural University*, 38 (4): 385 - 393. (in Chinese)
- 郭衍银, 徐 坤, 王秀峰, 朱艳红. 2003. 矿质营养与植物病害机理研究进展. *甘肃农业大学学报*, 38 (4): 385 - 393.
- Hara M, Oki K, Hoshino K, Kuboi T. 2004. Effects of sucrose on anthocyanin production in hypocotyl of two radish (*Raphanus sativus*) varieties.



- Plant Biotechnology, 21 (5): 401 - 405.
- Higaki T, Rasmussen H P, Carpenter W J. 1980. Color breakdown in anthurium (*Anthurium andreanum* Lind.) spathes caused by calcium deficiency. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 105 (3): 441 - 444.
- Hu Jing-jing, Shen Xiang, Li Xue-fei, Zhao Jing, Li Xin, Zhang Xian-xian. 2010. Relationships of leaf color changes and soluble sugars and mineral elements in leaves of *Pistacia chinensis* in autumn. *Scientia Silvae Sinicae*, 46 (2): 80 - 86. (in Chinese)
- 胡静静, 沈 向, 李雪飞, 赵 静, 李 欣, 张鲜鲜. 2010. 黄连木秋季叶色变化与可溶性糖和矿质元素的关系. *林业科学*, 46 (2): 80 - 86.
- Hu Jing-zhi, Tian Qi, Lu Xin-an. 2007. Relationship between changes of the pigments content and leaf color changing in *Liquidambar formosana*. *Journal of Northwest A & F University: Natural Sciences Edition*, 35 (10): 219 - 223. (in Chinese)
- 胡敬志, 田 旗, 鲁心安. 2007. 枫香叶片色素含量变化及其与叶色变化的关系. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 35 (10): 219 - 223.
- Li Xiao-kang, Zhu Yan-lin, Ning Yu-ting, Su Jin-le. 2008. The effects of applying nutrient solution on leaf color of *Populus × euramericana* ‘Zhonghong’ under various sunlights. *Acta Agriculturae Shanghai*, 24 (2): 20 - 24. (in Chinese)
- 李小康, 朱延林, 宁豫婷, 苏金乐. 2008. 不同光照条件下外施营养液对红杨叶色变化的影响. *上海农业学报*, 24 (2): 20 - 24.
- Li Zhong-guang, Gong Ming. 2005. Improvement of measurement method of polyphenol oxidase activities in plant. *Journal of Yunnan Normal University: Natural Sciences Edition*, 25 (1): 44 - 49. (in Chinese)
- 李忠光, 龚 明. 2005. 植物多酚氧化酶活性测定方法的改进. *云南师范大学学报: 自然科学版*, 25 (1): 44 - 49.
- Lü Fu-mei. 2005. Study on the characteristics of anthocyanin and photosynthesis in the leaves of four species leaf-colored plants of *Prunus* [M. D. Dissertation]. Tai'an: Shandong Agricultural University. (in Chinese)
- 吕福梅. 2005. 四种李属彩叶树木叶片色素特性及光合特性研究[硕士论文]. 泰安: 山东农业大学.
- Lu Ru-kun. 1999. Analysis of agricultural soil. Beijing: China Agricultural Science and Technique Press: 306 - 312. (in Chinese)
- 鲁如坤. 1999. 土壤农化分析方法. 北京: 中国农业科学技术出版社: 306 - 312.
- Nie Qing-juan, Shi Bao-sheng, Meng Zhao, Liu Dong-yun, Lou Li-na. 2008. The enzyme activities, pigment and inclusion contents in different leaves color of *Cotinus Coggygia* ‘Royal Purple’ in autumn. *Bulletin of Botanical Research*, 28 (5): 599 - 602. (in Chinese)
- 聂庆娟, 史宝胜, 孟 朝, 刘冬云, 娄丽娜. 2008. 不同叶色红栌叶片中色素含量、酶活性及内含物差异的研究. *植物研究*, 28 (5): 599 - 602.
- Qiu J, Xue X, Chen F, Li C, Nuer B, Wang X, Baima Y, Zhao Q, Zhao D, Ma F. 2010. Quality evaluation of snow lotus (*Saussurea*): Quantitative chemical analysis and antioxidant activity assessment. *Plant Cell Reports*, 29: 1325 - 1337.
- Shi Bao-sheng. 2006. The research on the physiological characters and the influence factors on leave color of purple leaf cherry plum [Ph. D. Dissertation]. Haerbin: Northeast Forestry University. (in Chinese)
- 史宝胜. 2006. 紫叶李叶色生理变化及影响因素研究[博士论文]. 哈尔滨: 东北林业大学.
- Su Xing, Hu Di-qin, Lin Zhi-fang, Lin Gui-zhu, Kong Guo-hui, Peng Chang-lian. 2002. Effect of air pollution on the chlorophyll fluorescence characters of two afforestation plants in Guangzhou. *Acta Phytocologica Sinica*, 26 (5): 599 - 604. (in Chinese)
- 苏 行, 胡迪琴, 林植芳, 林桂珠, 孔国辉, 彭长连. 2002. 广州市大气污染对两种绿化植物叶绿素荧光特性的影响. *植物生态学报*, 26 (5): 599 - 604.
- Tang Qian-rui, Chen De-fu, Chen You-yun, Zhang Zhi-hong, Zhou Pu-hua. 2006. Changes of physiology and biochemistry during leaf color transformation in *Loropetalum chinense* var. *rubrum*. *Scientia Silvae Sinicae*, 42 (2): 111 - 115. (in Chinese)
- 唐前瑞, 陈德富, 陈友云, 张宏志, 周朴华. 2006. 红榿木叶色变化的生理生化研究. *林业科学*, 42 (2): 111 - 115.
- Voss D H. 1992. Relating colorimeter measurement of plant color to the royal horticultural society colour chart. *HortScience*, 27 (12): 1256 - 1260.
- Wang L S, Hashimoto F, Shiraishi A, Aoki N, Li J J, Sakata Y. 2004. Chemical taxonomy of the Xibei tree peony from China by floral pigmentation. *Journal of Plant Research*, 117 (1): 47 - 55.
- Wang Qing-ju, Hu Yan-li, Li Xiao-lei, Wang Lei, Shen Xiang. 2007. Correlations of pigments and ouher chemical components of *Prunus virginiana* ‘Schubert’ in different leaf position. *Journal of Shandong Agricultural University: Natural Sciences Edition*, 38 (4): 557 - 560. (in Chinese)
- 王庆菊, 胡艳丽, 李晓磊, 王 磊, 沈 向. 2007. 紫叶稠李叶片不同叶序总花青素苷与化学成分的相关性. *山东农业大学学报: 自然*

科学版, 38 (4): 557 - 560.

Wang Qing-ju. 2007. The rule of anthocyanin synthesis and influence factors in the leaves of red-leaf tree species in *Prunus* [M. D. Dissertation]. Tai'an: Shandong Agricultural University. (in Chinese)

王庆菊. 2007. 李属红叶树种叶片花色苷合成规律及影响因素研究[硕士论文]. 泰安: 山东农业大学.

Xia Chun-hua. 2001. Studies on the effects of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{GA}_3$  in raising anthocyanin content of anthurium (*Anthurium andraeanum* Linden) [M. D. Dissertation]. Danzhou: South China University of Tropical Agriculture. (in Chinese)

夏春华. 2001.  $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{GA}_3$  对提高安祖花切花花青素含最效应[硕士论文]. 儋州: 华南热带农业大学.

Yasuda H. 1989. Physical biochemistry of the flower color. Fu Yu-lan Trans. Beijing: China Forestry Publishing House: 12 - 65. (in Chinese)

安田 齐. 1989. 花色的生理生物化学. 傅玉兰译. 北京: 中国林业出版社: 12 - 65.

Zhang Zhi-liang, Qu Wei-jing. 2003. Plant physiology and biochemistry experiments guidance. Beijing: Higher Education Press: 127 - 128. (in Chinese)

张志良, 瞿伟菁. 2003. 植物生理生化实验指导. 北京: 高等教育出版社: 127 - 128.

Zou Qi. 2004. Principles of plant physiology and biochemistry experiments and techniques. Beijing: Higher Education Press: 134 - 137. (in Chinese)

邹 琦. 2004. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社: 134 - 137.

## 征 订

# 《中国蔬菜作物图鉴》出版发行

中国拥有的栽培蔬菜作物(含食用菌和西瓜、甜瓜),按照植物学分类法,至少有 298 种(包括亚种、变种),分属于 50 个科。然而面对众多形态各异的蔬菜作物,社会公众对其大部分种类的认知却很有限,甚至一些专业研究人员在鉴别蔬菜作物时,有时也会感到困惑。因此,编辑出版一本能够直观地表达各种蔬菜作物的形态特征及生态多样性的彩色图册,成为广大读者的迫切企望。

鉴于此,由中国农业科学院蔬菜花卉研究所方智远院士和台湾中兴大学园艺学系张武男教授担任主任委员,联合编著了《中国蔬菜作物图鉴》,于 2012 年由凤凰出版集团江苏科学技术出版社出版。

按照农业生物学分类法,本书收录的蔬菜作物包括:根菜类、白菜类、甘蓝类、芥菜类、茄果类、豆类、瓜类、葱蒜类、叶菜类、薯芋类、水生类、多年生及杂类、食用菌类、香草类、芽苗菜共 15 类 237 种(亚种、变种)蔬菜作物,1 900 余幅彩色照片,表现每一种蔬菜作物的幼苗、植株、花、果实、种子、栽培生长情况、生态和产品类型,同时配以简短的文字,介绍各种蔬菜作物的名称、别名、学名、英文名、染色体数、起源或分布、生育周期与授粉习性、类型、植株性状、栽培分布、栽培环境与方法、收获及采后处理、病虫害、营养及用途。依据传统中医学的观点,分别介绍各种蔬菜的气(寒、凉、温、热)、味(酸、辛、咸、甘、淡、苦)及其医疗保健作用。

本书所列蔬菜作物,大部分为生产和消费中常见的种类,也包括栽培地域性较强的名特蔬菜,从国外新引进并已少量栽培的蔬菜,近年驯化栽培成功的野生蔬菜以及少数虽主要作中药材、花卉或地被植物栽培,但民间常采作蔬菜食用,并具有一定菜用开发价值的植物。个别尚未人工栽培的常见野生蔬菜,则收录于附录之中。

编者力图用精美的彩色图片直观、多角度、科学地表达各种蔬菜作物的形态特征和生态多样性,尤其是通过各种蔬菜作物的种子(果实)、花器放大图像,试图为有效鉴别蔬菜种类提供方便。考虑到一些蔬菜作物具有某些特殊的生长发育特征,如大蒜的二次生长和面包蒜,受黑粉菌侵染的茭白变态肉质茎,搅瓜的丝状果肉,佛手瓜的发芽过程,区分南瓜、笋瓜和西葫芦的重要标志之一不同形状的果梗梗座,青花菜与花椰菜花枝分枝习性等,也尽可能予以表达。可供广大蔬菜科技工作者、生产者、经营者以及其他读者对各种蔬菜鉴别和认知之用,也是农业院校不可或缺的实用专业辅助教材。

定价: 400 元(含邮费)。

购书者请通过邮局汇款至北京中关村南大街 12 号中国农科院蔬菜花卉研究所《园艺学报》编辑部,邮编 100081。

