

## ‘红露珍’山茶花花器官上气孔的动态变化与花瓣展开的关系

杨颖, 王永飞\*

暨南大学生物工程学系, 广州 510632

**摘要:** 本试验以‘红露珍’山茶为实验材料, 分别研究了蕾期(I)、花瓣露出(II)、花冠微展(III)、花冠完全展开(IV)和落地花冠(V)等5个阶段花瓣和雄蕊等部位气孔的分布特点及其动态变化。结果发现, 花瓣基部的上下表皮、雄蕊管的内外表皮均有气孔分布。在每个阶段, 花瓣基部下表皮的气孔器长度极显著大于上表皮的气孔器长度( $P < 0.01$ )。当山茶花冠微展时, 下表皮的气孔开度为 $(2.5 \pm 0.3) \mu\text{m}$ , 而当花冠展开时, 下表皮的气孔开度却为 $(0.9 \pm 0.3) \mu\text{m}$ ; 上表皮的气孔开度在整个发育过程中未发生显著性的改变, 其平均开度为 $(4.3 \pm 0.3) \mu\text{m}$ 。在每个阶段, 花瓣下表皮的表皮细胞密度大于上表皮的表皮细胞密度。雄蕊管内外表皮上的气孔在各阶段均维持较大的气孔开度。气孔的不均等分布、气孔开度的变化、表皮细胞的差速生长都可能与花瓣的展开有关。

**关键词:** ‘红露珍’山茶; 气孔器; 雄蕊管; 发育阶段; 花瓣展开

## The Relationship between the Dynamic Changes of Stomata on Floral Organs and the Opening of Flowers in *Camellia japonica* L. cv. ‘Hongluzhen’

YANG Ying, WANG Yong-Fei\*

Department of Biotechnology, Jinan University, Guangzhou 510632, China

**Abstract:** The distribution and dynamic changes of stomata on the epidermis of *Camellia japonica* L. cv. ‘hongluzhen’ petals and stamens in bud stage (I), petal emerge (II), slight opening (III), full opening (IV) and fallen flowers (V) were studied. The results showed that stomata were distributed on stamens and the base of petals. The length of stomata on upper surface of petals were significantly greater than that on the lower surface ( $P < 0.01$ ) in every developmental stage. Stomatal pore width was  $(2.5 \pm 0.3) \mu\text{m}$  and  $(0.9 \pm 0.3) \mu\text{m}$  at slight opening stage and full opening stage, respectively. No significantly differences was detected in the stomatal pore width on the inner surface of petals with an average value of  $(4.3 \pm 0.3) \mu\text{m}$  during the whole developmental process. The epidermal cell density on the lower surface of petals was higher than that on the upper surface. Stomata with larger pore width were presented on both the inner and outer surface of staminal tubes. The non-uniformed distribution of stomata, changes of stomatal pore width and different growing speeds of epidermal cells all might be involve the opening of flowers.

**Key words:** *Camellia japonica* L. cv. ‘Hongluzhen’; stomatal complex; staminal tube; developmental stage; the opening of flowers

植物的气孔控制着叶片蒸腾和光合作用两个基本生命过程, 对陆生植物的生长和生命维持是十分重要的。一些研究表明, 被子植物花各部位上也有气孔的分布(Inamdar 等 1972; Azad 等 2007; Watson 1962; Rao 和 Ramayya 1977; Schmid 1976), 但到目前为止, 对花各部位上气孔的功能仍知之甚少。Doi 和 Reid (1997)认为‘Kumasaka’山茶花(*C. japonica* L.)花瓣上的气孔是没有功能的。而 Azad 等(2007)则认为郁金香(*Tulipa gesneriana* L.)花瓣上的气孔在花瓣的运动过程中起作用, 花瓣开放时, 郁金香上下表皮呈开放状态的气孔的数目分别为

$27\% \pm 6\%$  和  $65\% \pm 3\%$ , 而当花瓣关闭时, 上下表皮开放的气孔数目则为  $74\% \pm 3\%$  和  $29\% \pm 6\%$ 。Schmid (1976)将雄蕊上的气孔分为两种, 一种是可以开闭的有功能气孔, 另外一种永久性开放的功能缺失型气孔, 他们认为后一种气孔与加快水分散失有关。水分的快速散失可以促进花粉的成熟。此外, Horner 等(2003)发现大豆(*Glycine max* L.)花蜜腺上的气孔呈持续开放状态, 花蜜正是通过这些

收稿 2010-09-06 修定 2010-10-19

\* 通讯作者(E-mail: wyfmsm@163.com; Tel: 020-38897606)。

开放的气孔分泌出来的。

山茶花又名茶花,是山茶科(Theaceae)山茶属植物,是我国的十大名花之一(张国彬等2004)。我国茶花品种数量达上千。根据花型将山茶花分为单瓣型、半重瓣型、托桂型、牡丹型、玫瑰重瓣型、完全重瓣型6个类型(张晓庆2008)。关于山茶花花发育过程中,花各部位气孔的有无、花开放过程中气孔开度等方面的研究尚未见报道,因此,我们对山茶花在各个发育阶段花各部位上的气孔进行研究,探讨花器官上气孔的动态变化与花瓣展开的关系,以为山茶花的形态解剖和花的形态建成提供理论基础。本实验中所取的山茶花品种为‘红露珍’,小乔木,花型为牡丹型,叶片中等革质,卵圆形,成熟时外翻;完全开放时其花冠直径可达7~9 cm;雄蕊发达,排列成簇状混生于曲折花瓣中,花丝基部1/2处合生成雄蕊管。

## 材料与方 法

实验所用‘红露珍’山茶花(*Camellia japonica* L. cv. ‘Hongluzhen’)取自暨南大学校园内。从2月下旬到3月下旬,上午8点至10点取山茶花,将所取山茶花分为蕾期(I)、花瓣露出(II)、花冠微展(III)、花冠完全展开(IV)(图1)以及落地花冠(V)这5个阶段。取花冠最外层的3层花瓣,用直接撕取法获得各个阶段花瓣基部的上下表皮,从雄蕊管中部采用徒手切片法获得雄蕊管的内外表皮。用Nikon YS100光学显微镜测量这些部位的气孔器长度、气孔器宽度和气孔开度,并计算出气孔指数、气孔密度和表皮细胞密度。

气孔指数=单位面积的气孔数/(单位面积的气孔数+单位面积的表皮细胞数)×100% (Salisbury 1928)。该值受表皮细胞生长的影响较小,主要与气孔的发生相关(Salisbury 1928; 马清温等2005)。

气孔密度的计算方法为:一个视野内的气孔数目/视野面积,它是影响气体交换很重要的一个指标(Pandey等2007),受表皮细胞的大小影响(马清温等2005)。

表皮细胞密度的计算方法为:一个视野内的表皮细胞数目/视野面积。

在每朵花的每个部位统计30个视野。实验重复5次。用SPSS 13.0软件对同一部位不同时期

的数据进行SNK-*q*检验,对同一时期的两个不同部位进行配对*t*检验。

## 实验结果

### 1 气孔在 山茶花花器官上的分布情况以及各部位表皮细胞的形态特征

通过观察发现,在‘红露珍’山茶花的花器官中,气孔主要分布在花瓣和雄蕊等部位。在各部位上,保卫细胞与周围的5~10个副卫细胞构成环式-辐射型(actinocytic type)(图2)。

在花瓣中,气孔只分布在基部,且上下表皮均有分布。花瓣上表皮的表皮细胞呈不规则的长条形(图2-A)。下表皮的表皮细胞长轴较上表皮表皮细胞的长轴短,且常有表皮毛(图2-B)。

雄蕊上的气孔主要分布在花丝合生成的雄蕊管上(图2-C、D),雄蕊管的各个部位均有气孔分布,且气孔开度比花瓣上气孔的开度要大。在花丝的离生部分偶见气孔(图2-E、F)。雄蕊的表皮细胞也呈不规则的长条形。

### 2 ‘红露珍’山茶花展开过程中花瓣上气孔的发育情况

‘红露珍’山茶花展开过程中花瓣上气孔的发育情况及其差异显著性分析见表1。在阶段I,即花苞期,很少见气孔的分布。所以表1中的数据未对阶段I进行统计。

由表1可知,从阶段II到阶段V,花瓣下表皮气孔器的长度较上表皮分别高出22.7%、25.8%、13.8%和14.9%,且每个阶段上下表皮的差异均达到极显著水平( $P<0.01$ ),上表皮和下表皮气孔器的长度均在阶段II最小,上表皮气孔器长度在阶段III(花冠微展)趋于稳定,而下表皮气孔器长度在阶段IV(花冠完全展开)趋于稳定。

每个阶段气孔器的宽度,在花瓣上表皮与下表皮之间无显著性差异( $P>0.05$ )。

从阶段II到阶段IV,花瓣上表皮的气孔开度未发生显著性的变化( $P>0.05$ )。花瓣下表皮的气孔开度在阶段III(花冠微展)达到最大,为 $(2.5\pm 0.3)\mu\text{m}$ ,是花瓣下表皮气孔平均开度的1.4倍;在阶段IV(花冠完全展开)最小,为花瓣下表皮气孔平均开度的1/2。在阶段II~IV,花瓣上表皮气孔的开度极显著大于下表皮( $P<0.01$ ),而在阶段V差异不显著( $P>0.05$ )。

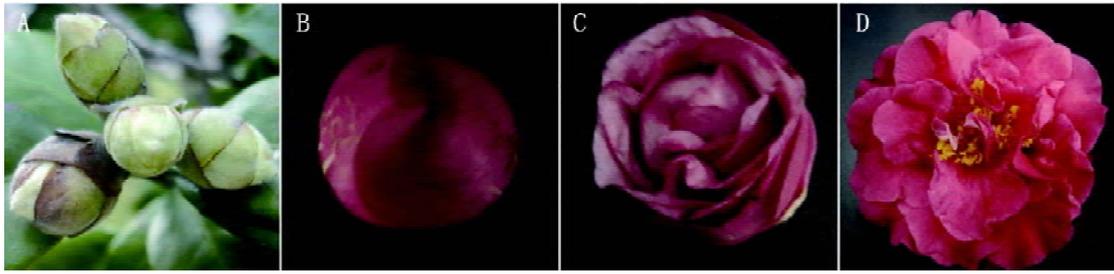


图1 不同开放阶段的山茶花

Fig.1 *Camellia japonica* flowers in different stages

A: 蕾期; B: 花瓣露出; C: 花冠微展; D: 花冠完全展开。

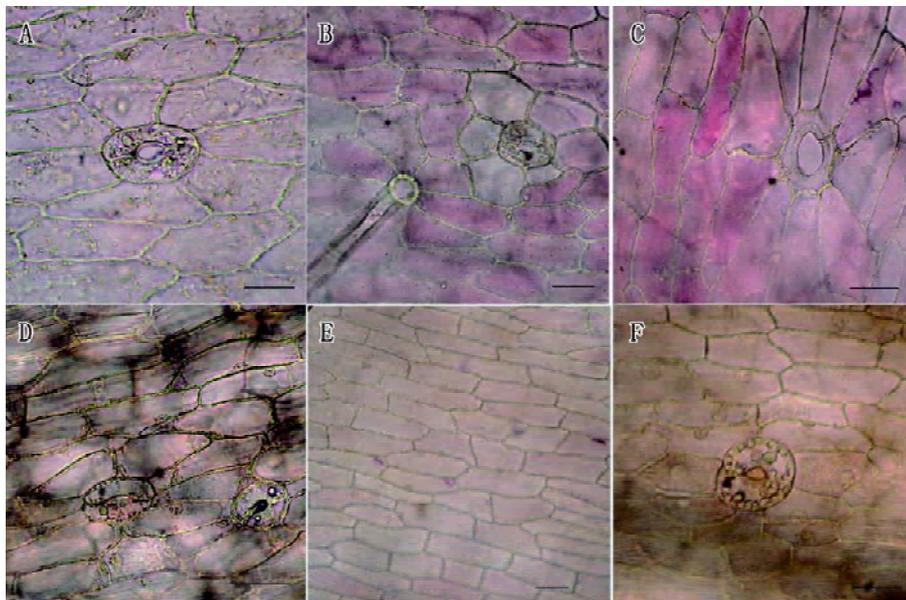


图2 山茶花花各部位上气孔和表皮细胞的形态特征

Fig.2 Morphological characteristics of stomata and epidermal cells on the floral organs of *Camellia japonica*A: 花瓣上表皮; B: 花瓣下表皮; C: 雄蕊管外表皮; D: 雄蕊管内表皮; E: 雄蕊的离生部分(无气孔存在); F: 雄蕊的离生部分(有气孔存在)。Bar=25  $\mu\text{m}$ 。

从阶段II到V, 花瓣基部上下表皮的气孔密度和气孔指数均未发生显著性的变化( $P>0.05$ )。

### 3 ‘红露珍’山茶花展开过程中雄蕊上气孔的发育情况

‘红露珍’山茶花展开过程中雄蕊上气孔的发育情况见表2。由表2可知, 在阶段II~V, 雄蕊管外表皮的气孔器长度均小于内表皮, 但只在阶段II表现出显著性的差异, 并且差异极显著( $P<0.01$ )。

在每个阶段, 雄蕊管外表皮气孔器的宽度均大于内表皮, 且在阶段III差异显著( $P<0.05$ ), 在阶段I差异极显著( $P<0.01$ )。外表皮的气孔器宽度在前

4个阶段保持稳定, 未表现出显著性的变化( $P>0.05$ ), 在最后一个阶段, 外表皮的气孔器宽度减小, 但较阶段III和IV差异不显著( $P>0.05$ ), 而较阶段I和阶段II差异显著( $P<0.05$ )。雄蕊管内表皮的气孔器宽度在发育过程中未发生显著性的变化( $P>0.05$ )。

雄蕊管内表皮、外表皮气孔的平均开度分别为( $5.6\pm 0.4$ )和( $7.7\pm 0.4$ )  $\mu\text{m}$ , 而花瓣上表皮和下表皮气孔的平均开度分别为( $4.3\pm 0.3$ )和( $1.8\pm 0.2$ )  $\mu\text{m}$ 。可见雄蕊管上的气孔开度较花瓣上的要大。雄蕊管内表皮的气孔开度在花的整个发育过程中均未发生显著性的变化( $P>0.05$ )。而雄蕊管外表皮气孔

表1 ‘红露珍’山茶花展开过程中花瓣上气孔的特征

Table 1 The characteristics of stomata on *Camellia japonica* cv. ‘Hongluzhen’ petals during the opening of flowers

气孔特征	发育阶段	花瓣上表皮	花瓣下表皮	显著性
气孔器长/ $\mu\text{m}$	II	43.3 $\pm$ 0.7 <sup>b</sup>	35.3 $\pm$ 0.7 <sup>c</sup>	**
	III	47.3 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	37.6 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	**
	IV	45.5 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	40.0 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	**
	V	46.3 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	40.3 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	**
	平均值	45.2 $\pm$ 0.5	37.9 $\pm$ 0.4	**
气孔器宽/ $\mu\text{m}$	II	30.6 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	30.6 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	NS
	III	30.9 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	30.7 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	NS
	IV	29.5 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>	28.0 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	NS
	V	29.3 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	28.7 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	NS
	平均值	30.3 $\pm$ 0.4	29.8 $\pm$ 0.4	NS
气孔开度/ $\mu\text{m}$	II	3.5 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	1.5 $\pm$ 0.5 <sup>ab</sup>	**
	III	5.1 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	2.5 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	**
	IV	5.4 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	0.9 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	**
	V	3.7 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	2.0 $\pm$ 0.3 <sup>ab</sup>	NS
	平均值	4.3 $\pm$ 0.3	1.8 $\pm$ 0.2	**
气孔密度/个 $\cdot\text{mm}^{-2}$	II	8 $\pm$ 1 <sup>a</sup>	7 $\pm$ 1 <sup>a</sup>	NS
	III	7 $\pm$ 1 <sup>a</sup>	8 $\pm$ 2 <sup>a</sup>	NS
	IV	5 $\pm$ 1 <sup>a</sup>	6 $\pm$ 1 <sup>a</sup>	NS
	V	9 $\pm$ 2 <sup>a</sup>	6 $\pm$ 1 <sup>a</sup>	NS
	平均值	7 $\pm$ 1	7 $\pm$ 1	NS
气孔指数/%	II	1.1 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	1.0 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	NS
	III	1.1 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	1.4 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	NS
	IV	1.0 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	1.4 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	NS
	V	1.8 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	1.7 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	NS
	平均值	1.4 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.1	NS

\*( $P<0.05$ )、\*\*( $P<0.01$ )和NS ( $P>0.05$ )分别代表在同一阶段上下表皮之间的差异显著、极显著和不显著。不同的小写字母表示0.05水平时,同一部位在不同阶段的差异显著。

的开度在阶段II最大,为(10.4 $\pm$ 0.7) $\mu\text{m}$ ,是外表皮气孔平均开度的1.4倍,在阶段III和阶段IV,雄蕊管外表皮的气孔开度较阶段II显著降低( $P<0.05$ ),但是较阶段I却无显著性的变化( $P>0.05$ )。在阶段V,气孔开度较前几个阶段显著降低( $P<0.05$ )。

无论是内表皮还是外表皮,气孔密度都在阶段I最大,且显著高于后4个阶段( $P<0.05$ ),在后4个阶段气孔密度未发生显著性的变化( $P>0.05$ )。内表皮气孔指数在阶段I最大,显著高于后4个阶段( $P<0.05$ ),在阶段II~V,内表皮的气孔指数未发生显著性的改变( $P>0.05$ )。而外表皮的气孔指数在整个发育过程中均未发生显著性的变化( $P>0.05$ )。

#### 4 ‘红露珍’山茶花展开过程中花瓣和雄蕊管上的表皮细胞密度变化

‘红露珍’山茶花展开过程中,雄蕊和花瓣上

表皮细胞密度的变化见表3。由表3可知,从阶段II到阶段V,花瓣基部上下表皮的表皮细胞密度在不断降低,且每个阶段较前一阶段差异显著( $P<0.05$ )。在每个阶段,下表皮的表皮细胞密度均高于上表皮,其中在阶段III无显著性差异( $P>0.05$ ),在阶段II差异显著( $P<0.05$ ),而在阶段IV和阶段V差异极显著( $P<0.01$ )。

雄蕊管内外表皮的表皮细胞密度也在阶段I最大,显著高于后4个阶段( $P<0.05$ );内外表皮的表皮细胞密度也都在阶段V最小,显著低于前4个阶段( $P<0.05$ )。内表皮的表皮细胞密度从阶段II到阶段IV保持稳定,未发生显著性的变化( $P>0.05$ )。外表皮的表皮细胞密度则从阶段III到阶段IV保持稳定。在阶段I和阶段II,雄蕊管外表皮的表皮细胞密度极显著高于内表皮( $P<0.01$ );在阶段III和阶段

表2 ‘红露珍’山茶花展开过程中雄蕊管上气孔的特征

Table 2 The characteristics of stomata on staminal tube of *Camellia japonica* cv. ‘Hongluzhen’ during the opening of flowers

气孔特征	发育阶段	雄蕊管内表皮	雄蕊管外表皮	显著性
气孔器长/ $\mu\text{m}$	I	35.0 $\pm$ 0.6 <sup>c</sup>	36.8 $\pm$ 0.5 <sup>b</sup>	NS
	II	42.7 $\pm$ 0.9 <sup>ab</sup>	40.2 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	**
	III	45.0 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	42.8 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	NS
	IV	40.5 $\pm$ 1.5 <sup>b</sup>	40.1 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	NS
	V	44.1 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	41.5 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	NS
	平均值		41.3 $\pm$ 0.6	39.9 $\pm$ 0.4
气孔器宽/ $\mu\text{m}$	I	33.7 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	37.4 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	**
	II	35.6 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	38.7 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	NS
	III	34.7 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	35.8 $\pm$ 1.1 <sup>ab</sup>	*
	IV	32.0 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	35.6 $\pm$ 1.1 <sup>ab</sup>	NS
	V	32.3 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	33.2 $\pm$ 1.3 <sup>b</sup>	NS
	平均值		33.8 $\pm$ 0.4	36.7 $\pm$ 0.5
气孔开度/ $\mu\text{m}$	I	6.8 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	6.6 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	NS
	II	6.0 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	10.4 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	NS
	III	4.2 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	7.9 $\pm$ 0.7 <sup>b</sup>	**
	IV	6.2 $\pm$ 2.4 <sup>a</sup>	7.0 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	NS
	V	5.1 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	3.8 $\pm$ 0.7 <sup>c</sup>	NS
	平均值		5.6 $\pm$ 0.4	7.7 $\pm$ 0.4
气孔密度/个 $\cdot\text{mm}^{-2}$	I	91 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	80 $\pm$ 9 <sup>a</sup>	NS
	II	12 $\pm$ 2 <sup>b</sup>	33 $\pm$ 3 <sup>b</sup>	**
	III	6 $\pm$ 2 <sup>b</sup>	21 $\pm$ 5 <sup>b</sup>	*
	IV	10 $\pm$ 2 <sup>b</sup>	26 $\pm$ 4 <sup>b</sup>	**
	V	13 $\pm$ 2 <sup>b</sup>	21 $\pm$ 2 <sup>b</sup>	*
	平均值		14 $\pm$ 2	31 $\pm$ 3
气孔指数/%	I	4.2 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	2.9 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	NS
	II	2.0 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	4.1 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	**
	III	1.0 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	3.4 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	*
	IV	1.6 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	4.1 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	**
	V	2.6 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	4.8 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	**
	平均值		2.0 $\pm$ 0.1	4.1 $\pm$ 0.2

\*( $P<0.05$ )、\*\*( $P<0.01$ )和NS ( $P>0.05$ )分别代表在同一阶段内外表皮之间的差异显著、极显著和不显著。不同的小写字母表示0.05水平时,同一部位在不同阶段的差异显著。

表3 ‘红露珍’山茶花展开过程中花瓣和雄蕊上的表皮细胞密度变化

Table 3 The epidermal cell density on *Camellia japonica* cv. ‘Hongluzhen’ petals and stamens during the opening of flowers

发育阶段	表皮细胞密度/个 $\cdot\text{mm}^{-2}$					
	花瓣			雄蕊管		
	上表皮	下表皮	显著性	内表皮	外表皮	显著性
I	—	—	—	2 088 $\pm$ 25 <sup>a</sup>	2 734 $\pm$ 101 <sup>a</sup>	**
II	717 $\pm$ 16 <sup>a</sup>	762 $\pm$ 28 <sup>a</sup>	*	583 $\pm$ 15 <sup>b</sup>	772 $\pm$ 23 <sup>b</sup>	**
III	561 $\pm$ 32 <sup>b</sup>	641 $\pm$ 17 <sup>b</sup>	NS	664 $\pm$ 28 <sup>b</sup>	611 $\pm$ 42 <sup>c</sup>	NS
IV	423 $\pm$ 11 <sup>c</sup>	538 $\pm$ 22 <sup>c</sup>	**	646 $\pm$ 32 <sup>b</sup>	621 $\pm$ 25 <sup>c</sup>	NS
V	350 $\pm$ 9 <sup>d</sup>	445 $\pm$ 15 <sup>d</sup>	**	487 $\pm$ 19 <sup>c</sup>	414 $\pm$ 7 <sup>d</sup>	**
平均值	527 $\pm$ 22	633 $\pm$ 19	**	636 $\pm$ 42	793 $\pm$ 83	*

\*( $P<0.05$ )、\*\*( $P<0.01$ )和NS ( $P>0.05$ )分别代表在同一阶段内外表皮或上下表皮之间的差异显著、极显著和不显著。不同的小写字母表示0.05水平时,同一部位在不同阶段的差异显著。—表示未获得相关数据。

IV, 内外表皮的表皮细胞密度无显著性的差异( $P>0.05$ )。而在阶段V, 外表皮的表皮细胞密度却显著的低于内表皮( $P<0.01$ )。

## 讨 论

Azad等(2007)在研究郁金香(*T. gesneriana* L.)花瓣上的气孔时发现, 在完全展开的花瓣中, 下表皮开放的气孔数目明显比上表皮少, 而在关闭的花瓣中却是相反的结果。在本实验中, 花冠由未展开到展开的过程中上表皮和下表皮的气孔开度也发生了变化。当花冠展开时, 下表皮的气孔开度为( $0.9\pm 0.3$ )  $\mu\text{m}$ , 上表皮的气孔开度是( $5.4\pm 0.7$ )  $\mu\text{m}$ 。这与郁金香花开放过程中花瓣气孔开度的变化是一致的。但是, 当山茶花冠微展时下表皮的气孔开度为( $2.5\pm 0.3$ )  $\mu\text{m}$ , 上表皮的气孔开度为( $5.1\pm 0.4$ )  $\mu\text{m}$ 。这与郁金香花关闭过程中花瓣气孔开度的变化恰恰相反。由于郁金香花的开放属于可逆性的开放, 而山茶花的花冠一旦展开就会一直保持直至枯萎, 这可能是山茶花瓣上表皮气孔开度变化不显著的原因。Azad等(2007)还发现无论是花瓣的内表皮还是外表皮, 其气孔密度的大小分别为基部>中部>顶部, 与此同时, 底部的蒸腾作用速率分别相当于中部、顶部的5倍和10倍。可见, 郁金香花瓣不同部位的气孔可通过影响蒸腾速率而有效的调节细胞膨压从而实现花瓣的开闭。而在山茶花瓣上, 气孔只分布于基部。这种分布方式也会影响到细胞膨压。所以我们推测山茶花瓣上气孔的不均等分布在花瓣打开过程中也起到了一定的作用。具体的作用机制还需要进一步的研究。

Kenis等(1985)发现当康乃馨(*Dianthus caryophyllus* L.)花瓣从花萼中露出时, 细胞分裂便终止。而Yamada等(2009)却发现玫瑰(*Rosa rugosa* Thumb)从蕾期一直到开放的过程中, 一直存在细胞分裂, 且细胞分裂的部位主要在花瓣的基部。我们的研究表明: 从阶段II开始, 花瓣上下表皮的表皮细胞密度不断降低, 细胞体积在不断增大, 这可以说明从阶段II开始, 山茶花瓣基部主要在进行细胞扩大, 而不是细胞分裂。Van Doorn和Van Meeteren(2003)认为花的开放过程中主要是细胞扩大在起作用, 并将花开放过程中造成花方位变化的原因归纳如下: (1)可逆性的离子积累而不依赖于伸长生长。

(2)依赖于花瓣特定部位细胞的死亡。(3)白天水分的丢失以及夜间水分的再充盈。(4)依赖于花瓣的差异性生长。Rolland-Lagan等(2003)用克隆分析的方法证明在金鱼草属(*Antirrhinum*)中, 花瓣裂片的形态建成主要依赖于生长方向的不同而不是生长速度的不同。在相同的发育阶段, 山茶花花瓣基部的下表皮的表皮细胞密度大于上表皮的表皮细胞密度, 也就是说花瓣基部下表皮细胞分裂生长的速度快, 在相同的时间内, 达到了较大的细胞数目。这表明山茶花的花瓣上表皮、下表皮的基部细胞也是进行差速生长的。所以我们推测在山茶花的开放过程中, 气孔的不均等分布、气孔开度的变化、表皮细胞的差速生长都与花的开放有关。

范光年和王培(1992)曾研究过小麦(*Triticum aestivum* L.)旗叶在挑旗、抽穗和开花3个时期时保卫细胞长度的变化, 发现刚展开的旗叶保卫细胞较小, 随着旗叶展开时间的推迟保卫细胞逐渐增长, 到开花期保卫细胞长度趋于稳定。在本文中, 花各部位上气孔器长度均在蕾期最小, 随着花的变大, 保卫细胞长度逐渐增加, 然后趋于稳定。因此, 山茶花花各部位气孔器长度的变化与小麦旗叶保卫细胞长度变化趋势一致。有研究表明小的气孔可以有效地调节蒸腾速率而防止水分散失(李芳兰等2005; 姚兆华等2007)。当山茶花花瓣气孔器长度稳定以后, 花瓣上表皮的气孔器长度仍显著大于下表皮气孔器的长度, 因而可以认为花瓣上表皮的气孔器显著大于下表皮的气孔器。下表皮上这种小的气孔器, 可能更有效地调节蒸腾速率而防止水分散失。

雄蕊管外表皮和内表皮的气孔开度很大, 尤其在蕾期后外表皮气孔的开度达到了最大。为什么雄蕊管上会存在开度如此大的气孔以及雄蕊管上的气孔是否在花瓣展开过程中起作用还需要进一步研究。

## 参考文献

- 范光年, 王培(1992). 生育期对小麦旗叶保卫细胞长度的影响. 河北农业科学, (2): 5~7
- 李芳兰, 包维楷, 刘俊华(2005). 岷江上游干旱河谷海拔梯度上四川黄栌叶片特征及其与环境因子的关系. 西北植物学报, 25 (11): 2277~2284
- 马清温, 李凤兰, 李承森(2005). 气孔参数的变异系数和影响因素. 北京林业大学学报, 27 (1): 19~23

- 姚兆华, 郝丽珍, 王萍, 张凤兰, 陈宏伟, 胡宁宝(2007). 沙芥属植物叶片的气孔特征研究. 植物研究, 27 (2): 199~203
- 张国彬, 冯玲玲, 周吉源(2004). 山茶属植物的研究现状与展望. 湖北林业科技, (2): 45~48
- 张晓庆(2008). 中国茶花品种分类、测试指南及已知品种数据库构建[硕士论文]. 北京: 中国农业大学
- Azad AK, Sawa Y, Ishikawa T, Shitaba H (2007). Temperature-dependent stomata movement in tulip petals controls water transpiration during flower opening and closing. Ann Appl Biol, 150 (1): 81~87
- Doi M, Reid MS (1996). Postharvest characteristics of cut *Camellia japonica* L. 'Kumasaka'. Postharvest Biol Tec, 7 (4): 331~340
- Horner HT, Healy RA, Cervantes-Martinez T, Palmer RG (2003). Floral nectary fine structure and development in *Glycine max* L.(Fabaceae). Int J Plant Sci, 164 (5): 675~690
- Inamdar JA, Bhatt DC, Patel RC, Dave VH (1972). Structure and development of stomata in vegetative and floral organs of some Passifloraceae. Proc Natl Acad Sci USA, 39 (5): 553~560
- Kenis JD, Silvente ST, Trippi VS (1985). Nitrogen metabolite and senescence-associated change during growth of carnation flowers. Physiol Plant, 65 (4): 455~459
- Pandey R, Chacko PM, Choudhary ML, Prasad KV, Pal M (2007). Higher than optimum temperature under CO<sub>2</sub> enrichment influences stomata anatomical characters in rose (*Rosa hybrida*). Sci Hortic, 113 (1): 74~81
- Rao SRS, Ramayya N (1977). Stomatogenesis in the genus *Hibiscus* L. (Malvaceae). Bot J Linn Soc, 74 (1): 47~56
- Rolland-Lagan AG, Bangham JA, Coen E (2003). Growth dynamics underlying petal shape and asymmetry. Nature, 422 (6928): 161~163
- Salisbury EJ (1928). On the causes and ecological significance of stomatal frequency, with special reference to the woodland flora. Philos T R Soc B, 216: 1~70
- Schmid R (1976). Filament histology and anther dehiscence. Bot J Linn Soc, 73 (4): 303~315
- Van Doorn WG, Van Meeteren U (2003). Flower opening and closure: a review. J Exp Bot, 54 (389): 1801~1812
- Watson L (1962). The taxonomic significance of stomatal distribution and morphology in *Epacridaceae*. New Phytol, 61 (1): 36~40
- Yamada K, Norikoshi R, Suzuki K, Nishijima T, Imanishi H, Ichimura K (2009). Cell division and expansion growth during rose petal development. J Jpn Soc Hort Sci, 78 (3): 356~362