

报春叶片解剖结构与耐热性的关系*

胡伟娟 张启翔** 潘会堂 董玲玲

北京林业大学园林学院,北京 100083

摘要 为研究适宜报春属植物耐热性的评价指标体系,筛选出耐热性强的报春种,测定了6种报春的热害指数,并利用扫描电镜对6种报春进行了叶片解剖结构的观察。结果表明:灰岩皱叶报春(*Primula forrestii*)及小报春(*P. forbesii franch*)的耐热性较强,黄花九轮草(*P. veris*)、岩生报春(*P. saxatilis*)和鄂报春(*P. obconica*)的耐热性中等,滇北球花报春(*P. denticulata* ssp. *sinodenticulata*)耐热性较差;影响报春属植物耐热性的叶片解剖性状主要有叶片厚度、叶肉细胞排列紧密程度、开张气孔数量及叶片的表皮毛及粉粒数量等指标。

关键词 报春; 叶片解剖结构; 耐热性

中图分类号 S 682.1⁺5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2010)03-0363-06

近年来全球气温持续升高,高温造成的生产损失越来越严重,对植物耐热性的研究已经引起人们的广泛重视。对于观赏植物而言,高温胁迫不但影响其生长表现和观赏价值,更是制约高山观赏植物资源引种的一个重要因子。报春属植物是著名的高山花卉,以其丰富绚丽的花色、各具特色的花型而备受世界各地人们的喜爱,被国外尤其是欧美国家的花卉园艺者赞为“世界三大花园植物”之一^[1]。由于报春大多分布在高山地区,生长发育要求冷凉的环境条件,对高温的忍耐力不强^[2]。在近几年对该属植物的引种栽培研究中发现,温度是影响其引种利用的主要因子之一,耐热性是引种及育种成功的关键,所以研究报春属植物的耐热性,探讨报春属植物组织结构与耐热性的关系,筛选出耐热性强的种质资源,建立一套完备快捷的耐热性评价指标体系是十分必要的基础工作。

植物由于长期适应不同的生长环境,形成了具有相对稳定的与其生长环境相适应的结构特点^[3]。叶是植物进行同化与蒸腾作用的主要器官,植物对环境的适应性也更多地反映在叶的形态与结构上。植物叶片各组织层是结构上的特征,就功能对结构而言,结构是第一性的^[4]。植物叶片的组织结构是植物长期适应环境的结果,组织结构特征与耐热性有一定的相关性。本试验测定了6种报春在高温胁

迫下热害指数的变化,并利用扫描电镜对6种报春叶片的结构进行了观察、拍照,统计了叶片厚度、气孔密度、气孔大小等指标,旨在通过不同种报春的解剖结构差异及热害指数的相关性分析,探讨报春属植物的解剖结构与耐热性的关系,并从中筛选出耐热性较强的报春种。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用灰岩皱叶报春(*Primula forrestii*)、滇北球花报春(*P. denticulata* ssp. *sinodenticulata*)、鄂报春(*P. obconica*)、黄花九轮草(*P. veris*)、小报春(*P. forbesii franch*)及岩生报春(*P. saxatilis*)6种报春为材料。

2008年12月在北京林业大学胖龙温室进行穴盘播种,6周后移栽至直径8 cm的营养钵,盆基质中V_{草炭土}:V_{珍珠岩}=3:1,试验期间根据温室条件进行常规的养护管理和病虫害防治,幼苗在处理前的生长条件为白天平均温度21℃,夜晚平均温度16℃;每天光照时间约为10~12 h;水分充足。

1.2 热害指数的测定

当幼苗长至6~8片叶时,每种报春各选取生长状态一致的30株幼苗置于人工气候箱中进行高温胁迫。设置温度为42℃,光照强度为10 000 lx,处

收稿日期:2009-10-21;修回日期:2010-03-15

* 国家“十一五”科技支撑计划课题(2006BAD01A18)和国家林业局重点项目(2003-008-L0)资助

** 通讯作者. E-mail: zqx@bjfu.edu.cn

胡伟娟,女,1980年生,博士研究生。研究方向:园林植物与观赏园艺。E-mail: happycaddy@163.com

理时间 12 h, 2 周后进行热伤害的调查和分级, 每次 10 株, 重复 3 次。

热害指数的统计和计算参考罗少波等^[5]的方法, 将高温伤害程度划分为如下 5 级: 无热伤害症状为 0 级; 1~5 片叶变黄为 1 级; 5~10 片叶变黄、1~3 片叶枯死为 2 级; 多于 10 片叶变黄为 3 级; 整株枯死为 4 级。热害指数计算公式为: 热害指数 = $\sum(x \times x_i) / A \times N \times 100$, x_i 代表 x 热害级数下植株的数量, A 代表出现热害的最高级数, N 代表调查的总株数。

1.3 电镜扫描

分别取成熟的 6 种报春的新鲜叶片, 用蒸馏水冲洗, 在中部剪取 2 mm × 2 mm 大小的 6 片叶, 每 3 片放入 1 个离心管中, 同时在中部剪取 1 mm × 3 mm 的 3 条条状叶片放入离心管中, 用戊二醛溶液固定, 蒸馏水冲洗, 叔丁醇干燥, 然后将干燥好的样品按照 3 个上表皮观察面、3 个下表皮观察面及 3 个纵切观察面朝上粘样, 经过离子溅射仪喷金后, 放置于 FEI COMPANY 的 QUANTA 200 扫描电镜下观察。

对每个不同的观察面即上表皮、下表皮及纵切面各选择 10~30 个视野, 并对气孔器等重要特征部位进行拍照。利用 image-pro plus 软件对照片进行处理分析, 统计气孔器数目, 选取 30 个气孔器对其长径、短径进行微距测定, 测量叶片厚度等指标^[6]。并用 DPS 软件进行数据分析。

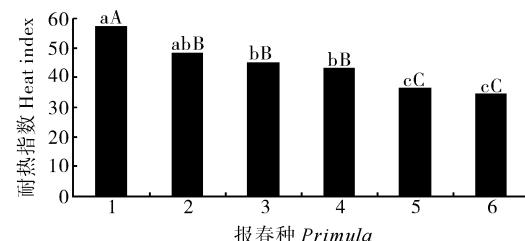
2 结果与分析

2.1 热胁迫下报春属植物热害指数的测定

植株的外部形态发生变化是高温对植物产生胁迫最直接影响的表现, 叶片失绿变黄是高温处理后的主要症状; 以热胁迫 0 h 作对照, 随着胁迫时间的延长, 首先表现为叶片失水, 萎蔫下垂, 叶片边缘发生卷曲变黄, 然后变黄蔓延到整个叶片, 严重时整株枯死, 不同种类的报春叶片受害变化类似, 但在发生变化的时间上有一定的差异。

热害指数反映了报春的耐热能力, 耐热种类的热害指数较低, 不耐热种类的热害指数较高。由图 1 可以看出: 不同种报春在高温胁迫下热害指数差异显著, 滇北球花报春 2 周后的热害指数极显著高于其他种, 说明其受到的热伤害最严重, 自身耐热性能最差; 黄花九轮草、岩生报春和鄂报春的热害指数

显著小于滇北球花报春, 且显著大于小报春及灰岩皱叶报春, 耐热性中等; 灰岩皱叶报春和小报春 2 周后的热害指数极显著低于其他种, 说明其自身耐热性能最强。



1. 滇北球花报春 *P. denticulata*; 2. 鄂报春 *P. obconica*; 3. 岩生报春 *P. saxatilis*; 4. 黄花九轮草 *P. veris*; 5. 小报春 *P. forbesii franch*; 6. 灰岩皱叶报春 *Primula forrestii*

图 1 不同种报春耐热指数比较

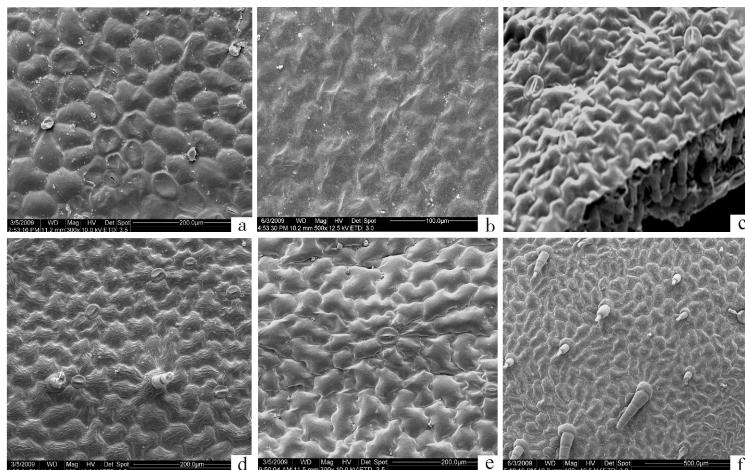
Fig. 1 Multiple comparison of heat index of different species of *Primula*

2.2 不同种报春的叶片解剖结构比较

1) 滇北球花报春的叶片解剖特征。滇北球花报春叶片上表皮细胞由规则或不规则的六边形的细胞组成, 叶片表面较平坦, 叶片上表面气孔很少, 呈不均匀分布, 气孔结构类型属于无规则型(图 2-a); 叶片下表面的气孔数目要明显多于上表皮, 且多数气孔略高于叶表皮层的表面, 气孔呈圆形或长圆形, 气孔多数闭合, 少数呈略微开张状态(图 3-a), 气孔的长径中等(图 4-a), 明显小于灰岩皱叶报春, 与其他种差异不显著, 气孔短径显著大于黄花九轮草, 与其他种差异不显著; 气孔的长短径比显著小于其他种, 最接近圆形(表 1); 叶片的上下表皮均有表皮毛或腺毛的分布(图 2-a, 图 3-a), 表皮毛或腺毛的结构不是十分一致, 其中下皮多于上表皮, 叶片下表皮有较为中等数量的粉粒分布(图 3-a)。

滇北球花报春叶片的厚度明显大于鄂报春, 但是却显著小于其他种(表 2)。叶上表皮细胞一层, 呈长方形或近长圆形, 排列较为紧密, 叶肉部分无明显栅栏组织和海绵组织的分化, 叶肉细胞大小与表皮细胞较为接近, 下表皮细胞一层, 明显比上表皮细胞小(图 5-a)。

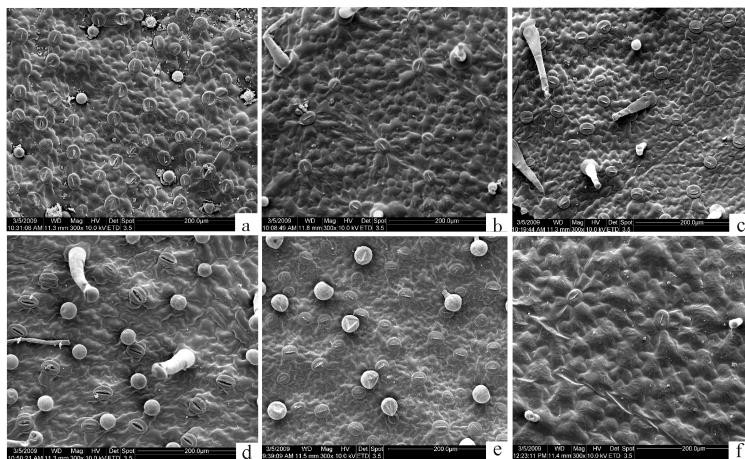
2) 鄂报春的叶片解剖特征。鄂报春叶片上表皮细胞由完全不规则的细胞组成, 叶片表面有不平突起; 叶片上表面气孔很少, 呈不均匀分布(图 2-b), 气孔结构类型属于无规则型; 叶片下表面的气孔数目要明显多于上表皮, 且多数气孔略高于叶表皮层的表面, 气孔呈圆形或长圆形, 气孔多数闭合(图 3-b),



a:滇北球花报春叶片上表皮($\times 300$) *P. denticulate* surface of uper epidermis in 300 magnification; b:鄂报春叶片上表皮($\times 300$) *P. obconica* surface of uper epidermis in 300 magnification; c:黄花九轮草叶片上表皮($\times 300$) *P. veris* surface of uper epidermis in 300 magnification; d:灰岩皱叶报春叶片上表皮($\times 300$) *P. forrestii* surface of uper epidermis in 300 magnification; e:小报春叶片上表皮($\times 300$) *P. malacoides* franch surface of uper epidermis in 300 magnification; f:岩生报春叶片上表皮($\times 300$) *P. saxatilis* surface of uper epidermis in 300 magnification.

图2 不同种报春叶片上表皮解剖结构

Fig. 2 The surface of uper epidermis of different species of *Primula*



a:滇北球花报春叶片下表皮($\times 300$) *P. denticulate* surface of lower epidermis in 300 magnification; b:鄂报春叶片下表皮($\times 300$) *P. obconica* surface of lower epidermis in 300 magnification; c:黄花九轮草叶片下表皮($\times 300$) *P. veris* surface of lower epidermis in 300 magnification; d:灰岩皱叶报春叶片下表皮($\times 300$) *P. forrestii* surface of lower epidermis in 300 magnification; e:小报春叶片下表皮($\times 300$) *P. malacoides* franch surface of lower epidermis in 300 magnification; f:岩生报春叶片下表皮($\times 300$) *P. saxatilis* surface of lower epidermis in 300 magnification.

图3 不同种报春叶片下表皮解剖结构

Fig. 3 The surface of lower epidermis of different species of *Primula*

气孔的长径较小(图4-b),明显小于灰岩皱叶报春,与其他种差异不显著,气孔短径显著大于黄花九轮草,与其他种差异不显著;气孔的长短径比中等,接近长圆形(表1);叶片的上下表皮均有表皮毛或腺毛的分布,但数量较少,下表皮的粉粒也较少(图3-b)。

鄂报春叶片的厚度显著小于其他种(表2)。叶上表皮细胞一层,呈长方形或近长圆形,排列较为紧密,叶肉部分无明显栅栏组织和海绵组织的分化,叶肉细胞略大于表皮细胞,下表皮细胞一层,明显比上表皮细胞小(图5-b)。

3)黄花九轮草的叶片解剖特征。黄花九轮草叶

片上表皮细胞由完全不规则的细胞组成,叶片细胞表面有不平突起,叶片上表面气孔很少,呈不均匀分布(图2-c);叶片下表面的气孔数目要明显多于上表皮,气孔呈圆形或长圆形,气孔多数闭合(图3-c);气孔的长径与短径都最小(图4-c),显著小于灰岩皱叶报春与小报春;气孔的长短径比较小,接近圆形(表1);叶片的上下表皮均有表皮毛或腺毛的分布,但数量较少,下表皮的粉粒也较少(图3-c)。

黄花九轮草叶片的厚度中等,显著小于灰岩皱叶报春,显著大于滇北球花报春和鄂报春(表2)。叶上、下表皮细胞均为一层,细胞层均较薄,叶肉部分无明显栅栏组织和海绵组织的分化,叶肉细胞略大于表皮细胞(图5-c)。

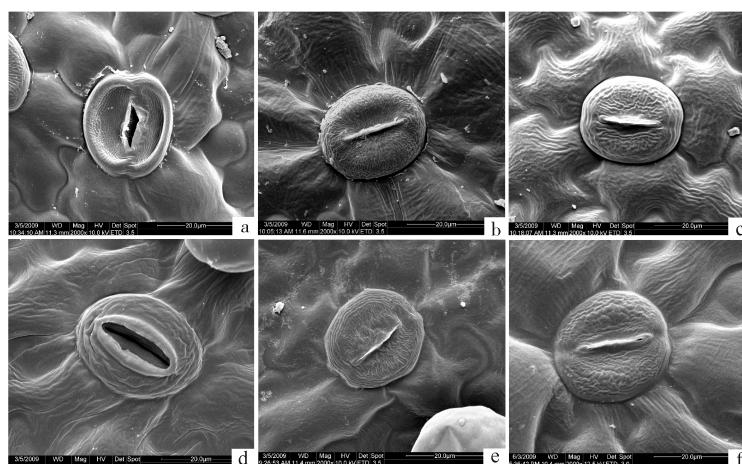
4)灰岩皱叶报春的叶片解剖特征。灰岩皱叶报春叶片上表皮细胞形状不规则,细胞表面有清晰的条状纹路;叶片上表面气孔很少,呈不均匀分布(图2-d);叶片下表面的气孔数目要明显多于上表皮,且多数气孔略高于叶表皮层的表面(图3-d);气孔呈长圆形(图4-d);气孔多呈略微开张状态,气孔的长径最大;与其他种差异显著;气孔短径显著大于黄花九轮草,与其他种差异不显著;气孔的长短径比显著大于其他种,呈典型的长圆形(表1);叶片的上下表皮均有表皮毛或腺毛的分布,其中下表皮多于上表皮,叶片下表皮有大量的粉粒分布,粉粒呈球形,表面有三角形凹陷(图3-e)。

形、表面光滑(图3-d)。

灰岩皱叶报春叶片的厚度明显大于其他种(表2)。叶上表皮细胞一层,呈长方形或近长圆形,细胞层厚度中等;叶肉部分无明显栅栏组织和海绵组织的分化,但叶肉极其紧密,叶肉细胞略微大于表皮细胞;下表皮细胞一层,明显比上表皮细胞小(图5-d)。

5)小报春的叶片解剖特征。小报春叶片上表皮细胞由不规则的细胞组成,叶片表面较为光滑平坦;叶片上表面气孔很少,呈不均匀分布(图2-e);叶片下表面的气孔数目要明显多于上表皮(图3-e);气孔呈圆形或长圆形(图4-e),气孔多数闭合,气孔的长径中等,明显小于灰岩皱叶报春,与其他种差异不显著,气孔短径显著大于黄花九轮草,与其他种差异不显著;气孔的长短径比中等,明显小于灰岩皱叶报春,大于其他种(表1);叶片的上下表皮均有表皮毛或腺毛的分布,其中下表皮多于上表皮,叶片下表皮有大量的粉粒分布,粉粒呈球形,表面有三角形凹陷(图3-e)。

小报春叶片的厚度中等,显著小于灰岩皱叶报春,显著大于滇北球花报春和鄂报春(表2)。叶上、下表皮细胞均为一层,细胞层均较薄,叶肉部分有明显的栅栏组织和海绵组织的分化,但栅栏组织厚度要明显小于海绵组织的,其平均比例为0.59,这点



a:滇北球花报春叶片气孔形态($\times 300$) *P. denticulata* stomata morphology of leaf in 300; b:鄂报春叶片气孔形态($\times 300$) *P. obconica* stomata morphology of leaf in 300 magnification; c:黄花九轮草叶片气孔形态($\times 300$) *P. veris* stomata morphology of leaf in 300 magnification; d:灰岩皱叶报春叶片气孔形态($\times 300$) *P. forrestii* stomata morphology of leaf in 300 magnification; e:小报春叶片气孔形态($\times 300$) *P. malacoides* franch stomata morphology of leaf in 300 magnification; f:岩生报春叶片气孔形态($\times 300$) *P. saxatilis* stomata morphology of leaf in 300 magnification.

图4 不同种报春叶片气孔形态解剖结构

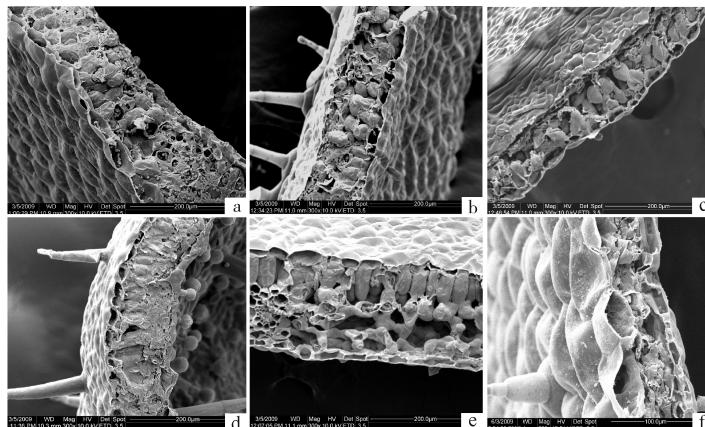
Fig. 4 The stomata morphology of different species of *Primula*

与其他种差异极为显著(图5-e)。

6)岩生报春的叶片解剖特征。岩生报春叶片上表皮细胞也为不规则形,叶片表面较平坦;叶片上表面气孔很少,但腺毛分布较多(图2-f);叶片下表面的气孔数目要明显多于上表皮,且多数气孔略高于叶表皮层的表面(图3-f);气孔呈圆形或近圆形(图4-f),气孔多数闭合;气孔长短径均较大,与其他种

差异显著(表1);叶片的下表皮也有表皮毛或腺毛的分布,叶片下表皮有少量的粉粒分布(图3-f)。

岩生报春叶片的厚度中等,显著小于灰岩皱叶报春,显著大于滇北球花报春和鄂报春(表2)。上表皮细胞一层,呈长方形或近长圆形,叶肉部分无明显栅栏组织和海绵组织的分化,上层表皮细胞大于叶肉细胞,下表皮细胞一层,明显比上表皮细胞小(图5-f)。



a:滇北球花报春叶片纵切面($\times 300$) *P. denticulata* longitudinal section of leaf in 300 magnification; b:鄂报春叶片纵切面($\times 300$) *P. obconica* longitudinal section of leaf in 300 magnification; c:黄花九轮草叶片纵切面($\times 300$) *P. veris* longitudinal section of leaf in 300 magnification; d:灰岩皱叶报春叶片纵切面($\times 300$) *P. forrestii* longitudinal section of leaf in 300 magnification; e:小报春叶片纵切面($\times 300$) *P. malacoides franch* longitudinal section of leaf in 300 magnification; f:岩生报春叶片纵切面($\times 300$) *P. saxatilis* longitudinal section of leaf in 300 magnification.

图5 不同种报春叶片纵切面解剖结构

Fig. 5 The longitudinal section of leaf of different species of *Primula*

表1 不同种报春叶片特性比较

Table 1 Comparison of leaf character of different species of *Primula*

种类 Species	叶片厚度/ μm Leaf thickness	表皮毛 Trichomes	粉粒 Powders	栅栏组织/海绵组织 Palisade/spongy tissue
滇北球花报春 <i>P. denticulata</i>	103.9 cC	极少 Rare	中 Medium	无明显分化 No obvious differentiation
鄂报春 <i>P. obconica</i>	85.1 dD	少 Little	少 Little	无明显分化 No obvious differentiation
黄花九轮草 <i>P. veris</i>	126.7 bB	少 Little	少 Little	无明显分化 No obvious differentiation
灰岩皱叶报春 <i>P. forrestii</i>	189.9 aA	多 More	多 More	无明显分化 No obvious differentiation
小报春 <i>P. forbesii franch</i>	133.9 bB	多 More	多 More	0.59
岩生报春 <i>P. saxatilis</i>	122.7 bB	少 Little	少 Little	无明显分化 No obvious differentiation

表2 不同种报春叶片下表皮气孔特征比较

Table 2 Comparison of lower epidermis stomata character in leaves of different species of *Primula*

种类 Species	气孔形状 Stomata shape	长径/ μm Long path	短径/ μm Short path	长短径比 Long/short	密度/(mm^{-2}) Density
滇北球花报春 <i>P. denticulata</i>	圆形或长圆形 Circular or obround	28.3 bcBC	26.3 abAB	1.12 dC	340.5 aA
鄂报春 <i>P. obconica</i>	圆形或长圆形 Circular or obround	26.9 cBC	23.9 bcBC	1.23 cB	98.6 cC
黄花九轮草 <i>P. veris</i>	圆形或近圆形 Circular or subrounded	23.9 cC	21.3 cC	1.18 bcB	129.1 cBC
灰岩皱叶报春 <i>P. forrestii</i>	长圆形 Obround	34.3 aA	24.7 bc BC	1.45 aA	163.2 bcBC
小报春 <i>P. forbesii franch</i>	圆形或长圆形 Circular or obround	27.5 bcBC	23.9 bc BC	1.27 bB	265.3 ab AB
岩生报春 <i>P. saxatilis</i>	圆形或近圆形 Circular or obround	31.7 abAB	29.5 aA	1.17 dC	110.3 cBC

3 讨论

从6种报春42℃高温胁迫2周后的热害指数

对比来看,灰岩皱叶报春及小报春的耐热性较强,黄花九轮草、岩生报春和鄂报春中等,滇北球花报春耐热性较差。

植物的适应性是植物对外界环境长期适应的结果,它不但与植物内部的生理生化活动有关^[7],而且取决于其自身的形态结构特征^[8]。叶片是植物体暴露在环境中最大面积的器官,在复杂的外界环境中反应最为敏感,最容易适应环境而改变它的形态和结构^[9],叶片的解剖结构特征也与抗逆性有着密切的联系。从叶片电镜解剖结构来看,不同种报春存在着一定的差异,主要体现在叶片厚度、叶片表面着生的表皮毛及分布的粉粒数量、叶肉细胞排列的紧密程度、下表皮气孔密度、气孔形状、气孔大小及开张的气孔数量方面。

已有研究表明高温胁迫中,抗热性强的植物种类、品种,有较大的叶片厚度、栅栏组织厚度与栅栏组织海绵组织比值以及较高的气孔密度^[2-6,8-11]。如王凤兰等^[8]研究发现影响新铁炮百合抗热性的主要因素是下角质层厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、栅栏组织/海绵组织值、叶片厚度等5项指标。本研究中灰岩皱叶报春的叶片厚度大、叶肉细胞排列紧密、叶片表面着生大量的表皮毛及粉粒、气孔多数呈开张状态;小报春的叶片厚度较大、叶肉细胞分化出栅栏组织、叶片表面着生大量的表皮毛及粉粒等;加之热害指数的测定结果中灰岩皱叶报春和小报春的耐热性较强;所以,影响报春属植物耐热性的叶片解剖性状主要有叶片厚度、叶肉细胞排列紧密程度、

开张气孔数量及叶片的表皮毛及粉粒数量等指标。

参 考 文 献

- [1] RICHARDS J. *Primula* [M]. Poland, OR: Timber Press, 1993: 3-4.
- [2] 张睿鹏. 滇西北报春资源及滇北球花报春核心种质的研究[D]. 北京:北京林业大学园林学院, 2009.
- [3] 邢全,石雷,刘保东,等. 桑叶叶片解剖结构及其生态学意义[J]. 园艺学报, 2004, 31(4): 526-528.
- [4] 李小梅,邓秀新,邓伯勋. 柑桔体细胞杂种的叶片结构特性[J]. 华中农业大学学报, 1999, 18(3): 272-275.
- [5] 罗少波,理智军,飞弹健. 大白菜品种耐热性的鉴定方法[J]. 中国蔬菜, 1996(2): 16-18.
- [6] 铁军,金山,李旭娇,等. 濒危植物南方红豆杉叶片形态结构及气孔参数[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(9): 24-27.
- [7] 张建霞,李新国,孙中海,等. 外源钙对柑橘抗热性的相关生理生化指标的影响[J]. 华中农业大学学报, 2005, 24(4): 397-400.
- [8] 王凤兰,周厚高,黄子峰,等. 铁炮百合叶片抗热性形态指标初探[J]. 湖北农学院学报, 2004(2): 102-105.
- [9] 高松,苏培玺,严巧娣,等. C₄荒漠植物猪毛菜与木本猪毛菜的叶片解剖结构及光合生理特征[J]. 植物生态学报, 2009, 33(2): 347-354.
- [10] 韩笑冰,利容千,王建波. 热胁迫下萝卜不同耐热性品种细胞组织结构比较[J]. 武汉植物学研究, 1997, 15(2): 173-175.
- [11] 肖芳,冯天杰,吴娜. 野芙蓉叶片解剖结构与其抗旱性关系的研究[J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(3): 33-35.

Relationship between Leaf Anatomical Structure and Heat Resistance of *Primula*

HU Wei-juan ZHANG Qi-xiang PAN Hui-tang DONG Ling-ling

College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract The index of heat injury and leaf anatomical structure under the scanning electron microscope of six *Primula* species were measured to study the responsive mechanism of *Primula* to the high temperature and to select the heat-resistant *Primula* species. The results showed that *Primula forrestii* and *P. malacoides* franch had higher heat-resistance than that of *P. obconica*, *P. veris*, *P. saxatilis*, *P. denticulatess.*, *P. sinodenticulata* with lowest heat-resistance. Leaf anatomical structures of *Primula* associated with heat-resistance included leaf thickness, tightness of mesophyll cell arrangement, the number of open stomata, the number of epidermal hair and powders of leaves.

Key words *Primula*; leaf anatomical structure; heat resistance

(责任编辑:张志钰)