

类短命植物新疆猪牙花解剖结构 及其生态适应性的研究

马智¹, 马淼^{1*}, 赵红艳²

(1. 石河子大学 生命科学学院, 新疆 石河子 832003; 2. 新疆师范大学 生命科学学院, 乌鲁木齐 830054)

摘要: 新疆猪牙花是分布于新疆阿勒泰地区西伯利亚落叶松林下的一种多年生高山类短命植物。解剖学研究结果表明:其地下鳞叶中薄壁组织发达,是重要的储藏器官,为该植物每年长达10个月的休眠提供了充足的水分和营养物质的储存空间。茎由表皮、基本组织以及3~4轮散生的维管束组成;茎表皮细胞具厚角质层,能有效降低体内水分的散失;发达的维管束为其在冰冷的土壤中有效地吸收水分和养分,实现碳水化合物由地下器官向地上器官的转移和物质重新分配提供了有力保障。发达韧皮纤维为支撑顶部的花、果器官提供了必要的机械支持。叶片大而薄,有助于增大光合器官的面积;叶表皮角质层不明显,可以减少对日光的反射;叶肉有海绵组织与“拟栅栏组织”的分化,后者的细胞呈长柱形,其长轴方向与叶表皮方向平行,多层排列,能有效提高叶绿体对光能的捕获效率,是该植物对林下弱光生境长期适应的结果。花被片中维管束密集,发达的维管组织对维持花被片薄壁细胞的膨压,维持花被片较长时间的强烈反折状态以增加被昆虫访花的机会,提高昆虫传粉效率,促进繁殖成功具有关键作用;中轴胎座,胚珠多数;柱头与花柱中空,内表面具分泌细胞,有利于花粉管的快速萌发和迅速伸长。

关键词: 新疆猪牙花; 解剖; 类短命植物; 适应; 拟栅栏组织

中图分类号: Q944.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2012)03-0304-06

Anatomy and its ecological adaptation of an ephemeroid *Erythronium sibiricum* in Xinjiang

MA Zhi¹, MA Miao^{1*}, ZHAO Hong-Yan²

(1. College of Life Science, Shihezi University, Shihezi 832003, China; 2. College of Life Science, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: *Erythronium sibiricum* is an ephemeroid in Xinjiang Altai, distributing in alpine grassland under *Larix sibirica* Ledeb. forest with shadow habitat. In the present paper, anatomy and its ecological adaptation of *E. sibiricum* was studied. The results showed that there was significant parenchyma in subterranean scale leaf, which provided sufficient location of water and nutriment for *E. sibiricum* during its above 10-month dormancy every year; stem (scape) of *E. sibiricum* consisted of epidermis, ground tissue and sparsate closed vascular bundles. There was a thick layer of cuticle on the epidermis of stem, which could save inside water from evaporation, lots of vasculars were able to ensure water absorption from cold soil and nutrients allocation to shoot efficiently. There was significant phloem fiber in every bundle that played a very important role in bearing large flower or fruit on the top of the stem; leaf was large and thin with little cuticle on the epidermis, which could not only lessen sunlight reflection, but also enlarged photosynthetic surface. Besides spongy tissue, there was another kind of special mesophyll tissue “semi-palisade tissue” in assimilating tissue constituted with layers of elongate cells, whose macro-axis was parallel with the leaf epidermis, and it means a significantly enlarged photo-

* 收稿日期: 2011-08-23 修回日期: 2011-12-25

基金项目: 国家自然科学基金(30960028)[Supported by the National Natural Science Foundation of China(30960028)]

作者简介: 马智(1984-),男(回族),新疆吐鲁番人,硕士研究生,资源植物学研究方向,(E-mail)mazhi1408@163.com。

* 通讯作者: 马淼,博士,教授,主要从事植物生态学研究,(E-mail)mamiaogg@126.com, miaom@shzu.edu.cn。

synthetic tissue area, suggesting an adaptation to the shadow habitat of *E. sibiricum* under the forest where the sunlight was not sufficient; there were dense veins inside of the parianth, which acted as a keystone role in sustaining enough water supply, sustaining cell normal turgor pressure, sustaining optimal spatial showing pattern of parianth, and in improving pollination efficiency, ensuring reproductive success. It was also the result of the long-period adaptation of the plant to its shadow forest habitat, where the pollinators were not reliable; axile placentation with much ovules in each locule, and style was hollow, and style canal was obvious and with secretory cells on its inner epidermis, which was helpful to rapid germination of pollen and elongation of pollen tube.

Key words: *Erythronium sibiricum*; anatomy; ephemeroïd plant; adaptation; semi-palisade tissue

新疆猪牙花(*Erythronium sibiricum*)是百合科猪牙花属多年生草本植物(中国植物志编辑委员会, 1980),在我国分布于新疆北部阿尔泰山,生长于海拔 1 900~2 500 m 的落叶松林下。俄罗斯西伯利亚也有分布,5 月中下旬伴随积雪的融化新疆猪牙花开始在冰雪中顶冰萌发,生长发育迅速,年苗萌发后的第二天便可开花,花大而艳丽,是著名的观赏植物。花期为 5 月中旬至 6 月上旬,6 月底种子成熟后植株地上部分即行枯萎,以地下鳞茎和鳞叶度过剩余季节。年生活周期约为 40 d,是早春类短命植物(马森等,2006)中分布海拔和地理纬度最高的种类之一。其自然生境特殊,年生活周期短促,生活史独特,是研究植物生态适应的理想材料,然而对该植物的研究目前仅限于有关系统分类学和资源地理分布的报道(Hoffmann & Ermakov, 2008)。本文拟从新疆猪牙花的解剖结构入手,揭示其结构植物学特征及其生态适应性机理,旨在为该物种的深入研究提供必要的参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

研究材料于 2010 年 5 月采自新疆阿勒泰地区布尔津县海拔 2 200 m 的西伯利亚落叶松(*Larix sibirica*)林下。选取新疆猪牙花健康植株的鳞叶、叶片、茎(近地面处花葶)以及花被片等,切成 5 mm 长的小段,置于 FAA 溶液中固定,花药、花柱以及子房则采用整体固定法,直接置于 FAA 溶液中固定,固定时间为 24 h 以上。

1.2 实验方法

采取常规石蜡切片法切片,切片厚度为 12 μm ,番红一固绿对染,加拿大树胶封片。Olympus 光学显微镜下观察,DP70 显微照相系统拍照。在 100、200 倍镜下随机观察 10 个视野,用 Report 软件统计和测量数据(即:茎的维管束面积、导管直径、气孔

密度、角质层厚度、栅栏组织厚度等),每项指标重复测定 10 次,取平均值。

2 结果与分析

2.1 新疆猪牙花的形态特征

新疆猪牙花植株高 16~20 cm,茎约 1/3 埋于地下。鳞茎长 3~4 cm,宽 6~8 mm,近基部一侧常有几个扁球形的小鳞茎。叶 2 枚,对生于植株中部,披针形或近矩圆形,长 7~10 cm,宽 1~2.5 cm,先端较尖或极尖,基部楔形,柄长 1.5~2.5 cm。花单朵顶生,俯垂;花被片 6 枚,披针形,长约 3 cm,宽约 5 mm,下部白色,上部紫红色,反折;花丝在中部加宽,加厚部分扁平,卵形,宽达 1.5 mm;花药近狭矩圆形,长 3 mm;花柱向上逐渐增粗,具 3 裂柱头。花期 5~6 月(中国植物志编辑委员会,1980)。

2.2 结构特征

2.2.1 茎(花葶)的结构 新疆猪牙花茎的横切面呈圆形,由表皮、基本组织和散生的维管束构成。表皮:表皮细胞较小,为 1 层细胞,排列紧密,呈嵌合状,外壁有较发达的角质层,厚度约为 10.32 μm ,光滑无毛(图版 I:1)。基本组织:近表皮的 6~7 层细胞较小,排列紧密,为厚角组织。逾向中心,细胞越大,维管束散布在其中。维管束:散生的维管束有 3~4 轮(图版 I:1),每个维管束由初生韧皮部和初生木质部以及维管束鞘组成,属外韧型有限维管束,内、外轮维管束较小,夹在其中的维管束较大。木质部发达,木质部面积约占维管束面积的 60%~70%,木质部导管口径约为 37.33 μm ,韧皮部中有发达的韧皮纤维(图版 I:2)。

2.2.2 叶的结构 为背腹型叶,叶大而薄,由表皮、叶肉、叶脉三部分组成。表皮:上、下表皮细胞小,近方柱形,排列整齐,外壁具角质层不明显,厚度仅为 6.65 μm ,光滑无毛。气孔器小,略下陷,孔下室明显(图版 I:3),下表皮气孔数量明显较上表皮多,上

表皮气孔数量平均为每厘米6个,而下表皮却高达每厘米12个。叶肉:叶肉组织形态特殊,分化为海绵组织和“拟栅栏组织”两部分。而后者细胞呈长柱形,其细胞长轴方向与叶片表皮平行排列,3~4层,位于叶肉近上表皮处,“拟栅栏组织”厚度约为 $82.37\ \mu\text{m}$,细胞内富含叶绿体,是叶片进行光合作用的主要场所。海绵组织位于叶肉近下表皮处,由大小不等、形状各异的薄壁细胞组成,细胞内叶绿体相对较少。叶脉:主脉维管束发达,木质部在上(近轴面),韧皮部在下(远轴面),有发达的韧皮纤维。侧脉虽然结构相对简单,但数量众多,排列稠密,平均每毫米宽叶片中具有12个侧脉。维管束外围有1~2层由较小的薄壁细胞形成的维管束鞘(图版I:4)。鳞叶:鳞叶肥厚,分为表皮、基本组织以及维管束等3个组成部分。表皮由单层细胞组成,小型,排列紧密。外壁角质层很不明显,(图版I:5),无表皮毛。维管束多,呈两轮排列,分布于基本组织细胞中。基本组织发达,细胞体积较大,由大型薄壁细胞组成,是鳞叶中最主要的组成部分。

2.2.3 花的结构 花被片横截面呈中间厚两侧薄的月牙形,结构较简单,由内外表皮、薄壁细胞及维管束组成,维管束数量众多,5 mm宽的花被片中有16个明显的维管束位于其中(图版II:6)。雄蕊成熟时,花药的壁只有表皮和纤维层两层细胞,绒毡层和中层均已消失,纤维层细胞径向伸长,其径向壁上纤维状加厚明显。花药开裂时,同侧的2个药室间因分隔破裂而成为一室,后自两药室相接区域的花药壁破裂,花粉粒经裂口散出(图版II:7)。雌蕊由柱头、花柱和子房3部分组成,柱头3裂,内表皮细胞质浓厚。花柱向上逐渐增粗,为中空型花柱,花柱道明显,花柱道表面具分泌细胞(图版II:8)。子房3室,中轴胎座,每个子房室具多数胚珠(图版II:9)。

3 讨论

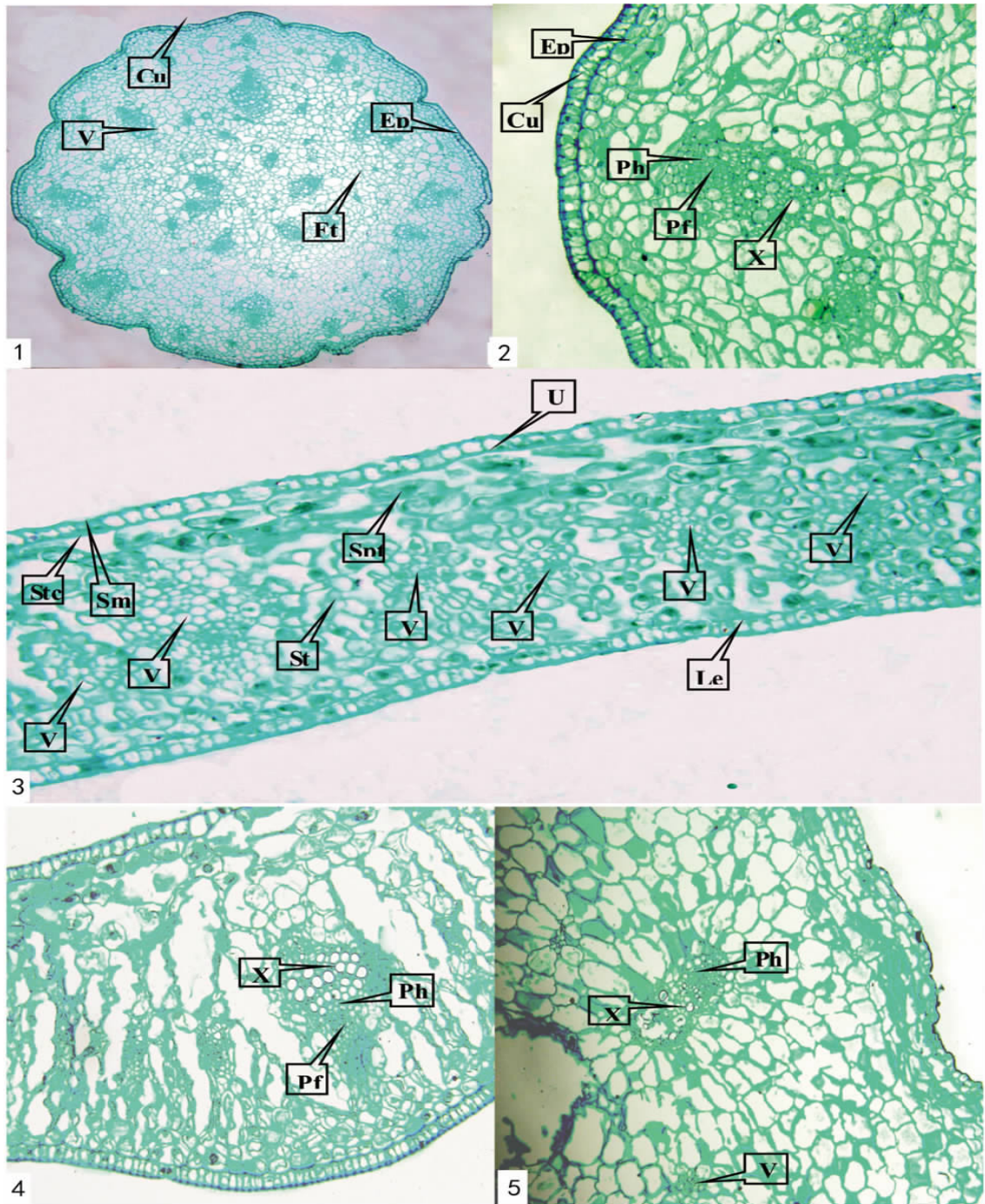
3.1 茎(花萼)解剖结构及其生态适应性

茎表皮细胞排列紧密,细胞彼此嵌合式排列,有助于加强初生保护组织的保护效果,其表面发达的角质层则有助于防止体内水分的过度散失。茎内发达的基本组织可储存足够的水分供花、果、种子的发育所需(Houle,2002)。新疆猪牙花茎中有3~4轮散生的维管束。茎中维管束散生是单子叶植物较典型的形态特征(徐小林等,2006)。新疆猪牙花茎中

靠近表皮的6~7层厚角组织细胞,与维管束中的韧皮纤维均具有机械支持功能,对支撑大而鲜艳的花、膨大的果实以及抵抗风力、避免植株倒伏起着十分重要的作用。早春短命植物往往具有高的光合速率以实现碳水化合物的快速积累,数周内完成植物地上部分的生长。为了在早春维持高的光合速率,植物必须得能从低温土层中有效地吸收水分,并且分配给苗更多的养分以补偿低温下较低的酶活(Lapointe,2001)。低温是早春类短命植物生长的限制因素。早春季节土壤温度较低,对根系吸收水分十分不利,会产生明显的干旱胁迫,在长期的适应与进化过程中植物必然会形成形态、结构、生理、生化、行为等不同层面的应对策略(Harper,1967;马森等,2006;McKenna & Houle,2000),如植株矮化,增加体内水分贮藏;增强根对寒冷的耐受性以及水分的吸收能力等(张金龙等,2009)。新疆猪牙花具有伴随环境冰雪融化而“顶冰”萌芽的习性,且环境昼夜温差较大,白天正午时分已经融化的雪水夜间又会重新凝结成冰。茎导管发达,导管数量多,口径较大,在水分充足时有利于提高水分运输效率,加大输水量。而当水分稀少时,其导管容易形成空穴,使运输的水分变少,输水效率下降,保证了水分运输的有效性和安全性,这对于干旱胁迫条件下植物降低水分丧失有积极作用。另外,茎中细胞排列疏松,胞间隙大,只有初生结构而无次生长,这与其较短的年生活史周期是一致的。

3.2 叶片解剖结构及其生态适应性

光照条件是影响叶片形态、结构的一种重要的环境因子。作为光合作用的器官,植物叶片的形态和结构受光环境的深刻影响(胡兴华等,2010),新疆猪牙花多生于林下地带,长期处于弱光环境中,植物叶片大而薄、比叶重小,角质层不明显,一方面增大了光合面积,另一方面又减少了对光的反射,有助于光的有效捕获,从而提高叶片的光合效率。叶肉是叶片光合作用的主要部位,栅栏组织与海绵组织的分化、厚度以及栅栏组织细胞的形态变化等的多样性必然会影响到叶绿体的分布和光合作用的实际效率。在林下阴生环境中植物有通过增加比叶面积、改变叶绿体分布方式、增加叶绿体对光捕获能力的现象(Oguchi等,2006)。新疆猪牙花叶片中具有“拟栅栏组织”细胞的分化,提高了近轴面叶绿体分布的密度,平行于表皮的“拟栅栏组织”细胞有效地增加了叶绿体的受光面积,使其在阳光不充足的生

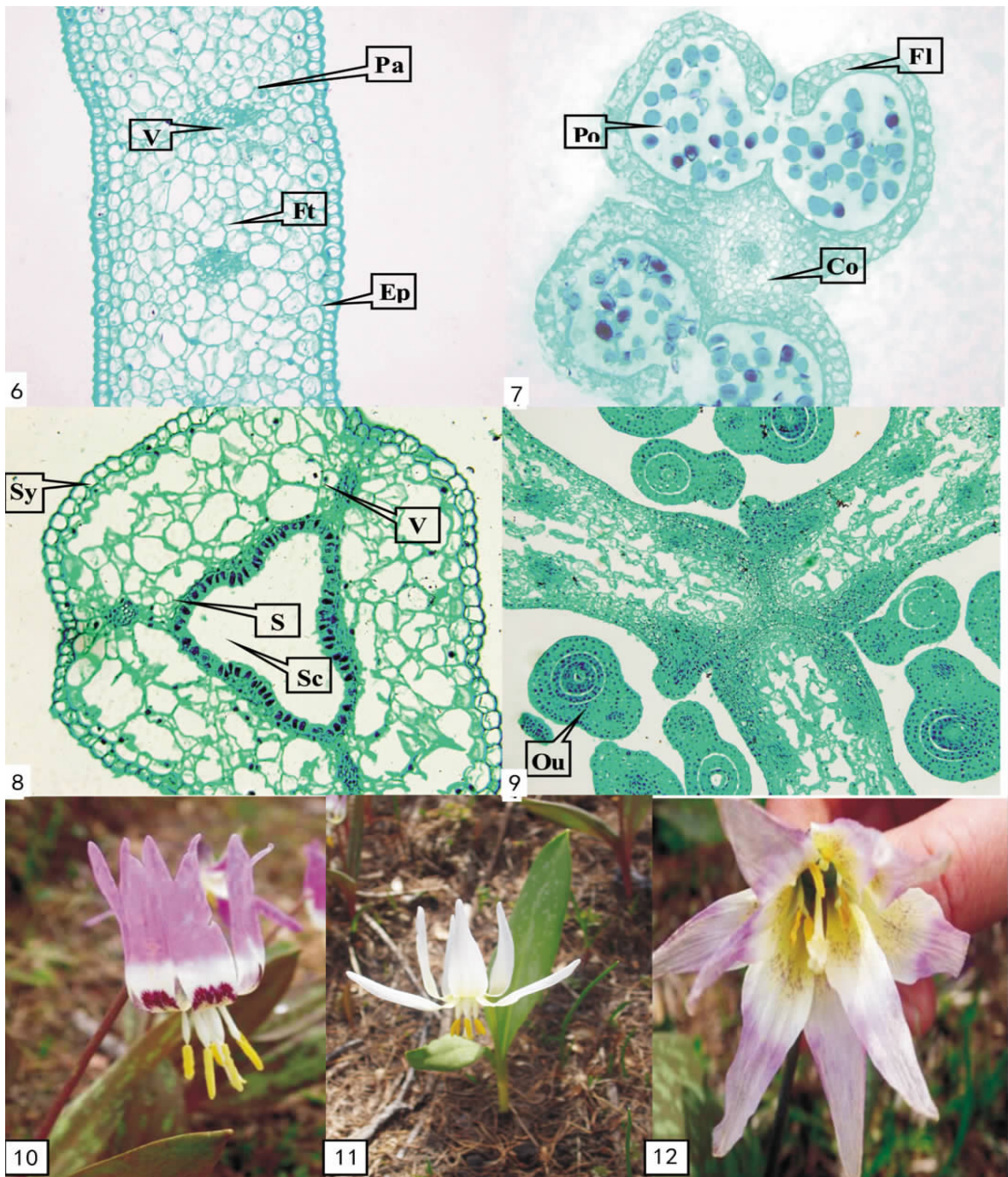


图版 I 新疆猪牙花及其解剖结构 1. 茎的横切 (×40); 2. 茎的横切 (×200); 3. 叶的横切 (×200); 4. 叶的横切 (×200); 5. 鳞叶横切面 (×100)。

Plate I *Erythronium sibiricum* and its anatomical structure 1. Transverse section of stem (×40); 2. Transverse section of stem (×200); 3. Transverse section of leaf (×200); 4. Transverse section of leaf (×200); 5. Transverse section of scale leaf (×100).

境下,可以充分利用衍射光来增加光和作用的效率(施海燕等,2010),满足该类短命植物快速发育对光合产物的巨大需求,有着十分重要的生物学意义。可见,这种“拟栅栏组织”的产生是新疆猪牙花快速发育习性的客观要求,同时也是其对林下弱光生存

环境长期适应的结果,这种异常的组织结构在以往文献中尚未见有报道。叶片中发达的叶脉组织一方面提高了叶片的水分输导能力,对及时补充由于较大的叶面蒸腾引起的组织水分亏缺,维持叶片的细胞紧张度,维持叶片的最佳空间展示格局和维持



图版 II 6. 花被片横切 ($\times 200$); 7. 花药横切 ($\times 100$); 8. 花柱横切 ($\times 100$); 9. 子房横切 ($\times 100$); 10. 花具 6 枚红白相间且带紫色脉纹的花被片; 11. 花具 6 枚白色花被片; 12. 花具 9 枚花被片, 花被片脉纹为黄色。Co: 药隔; Cu: 角质层; Ep: 表皮; Ft: 基本组织; Le: 表皮; Ou: 胚珠; Ov: 子房; Pa: 花被片; Pf: 韧皮纤维; Ph: 韧皮部; Po: 花粉粒; S: 分泌细胞; Sc: 花柱道; Sm: 气孔; Spt: 拟栅栏组织; St: 海绵组织; Stc: 孔下室; Sy: 花柱; U: 下表皮; V: 维管束; X: 木质部。

Plate II 6. Transverse section of parianth ($\times 200$); 7. Transverse section of anther ($\times 100$); 8. Transverse section of style ($\times 100$); 9. Transverse section of ovary ($\times 100$); 10. Flower is of 6 red and white petals with purple vein; 11. Flower with 6 white petals; 12. Flower is of 9 petals with yellow vein. Co: connective; Cu: cuticle; Ep: epidermis; Ft: fundamental tissue; Le: lower epidermis; Ou: ovule; Ov: ovary; Pa: parianth; Pf: phloem fiber; Ph: phloem; Po: pollen; S: secretory cell; Sc: style canal; Sm: stoma; Spt: semi-palisade tissue; St: spongy tissue; Stc: stomatic chamber; Sy: style; U: upper epidermis; V: vascular bundle; X: xylem.

叶片细胞内新陈代谢的正常进行具有举足轻重的作用(唐为萍等, 2005); 同时, 叶脉维管束中的韧皮纤维还具有一定的机械支持作用(唐中华等, 2007), 对

于维持叶片最佳的空间展示姿态和抵抗风力侵袭都具有积极意义。地下鳞茎和肉质鳞叶是新疆猪牙花的越冬器官, 其鳞叶中富含淀粉, 发达的基本组织为

类短命植物水分和养分的储存提供了足够的细胞空间(秦佳梅等,1998;Lapointe,2001),为该植物每年长达 10 个月的休眠提供了安全保障。

3.3 花解剖结构及其生态适应性

花被片中维管束发达是新疆猪牙花的一大特点。文献记载中新疆猪牙花的花被片虽只有 6 枚,下部白色、上部紫红色、反折,但实际调查中发现其花部多样性十分丰富,花被片数目 3、6、9 枚不等,长约 3 cm,花被颜色有白色/紫红色相间、白色/粉红色相间、紫色/粉红色相间、纯白色等多种(图版 II:10-12)。花色是花展示中的一个重要特征,在吸引昆虫访花,提高授粉效率方面有很重要的生物学意义。新疆猪牙花一方面植株矮小,林下环境光线较弱,不易引起昆虫觉察;另一方面,由于花期环境温度较低,访花昆虫种类稀少(笔者野外实地调查结果),存在传粉者竞争。因此,强烈反折的花被片、多样的花色与数量各异的花被片及较长的单花花期对新疆猪牙花有性繁殖成功均具有重要意义。发达的维管组织对维持花被片薄壁细胞的膨压,维持单花近 7 d 花期内花被片的强烈反折形态具有关键作用。

参考文献:

中国植物志编辑委员会. 1980. 中国植物志(第 14 卷)[M]. 北京:科学出版社
 Harper JL. 1967. A Darwinian approach to plant ecology[J]. *J Ecol*, **55**:247-270
 Hoffmann MH, Ermakov NB. 2008. Biogeographical study of West Siberian hemiboreal forest associations with species range overlay methods[J]. *Flora-Morphol Distr Funct Ecol Plant*, **203**(3):234-242
 Houle G. 2002. The advantage of early flowering in the spring ephemeral annual plant *Floerkea proserpinacoides*[J]. *New Phy-*

tol, **154**(3):689-694

Hu XH(胡兴华), Li JW(李洁维), Jiang QS(蒋桥生), et al. 2010. Responses of leaf characters of *Camellia nitidissima* to different light environments(金花茶叶片性状对不同光环境梯度的响应)[J]. *Guihaia*(广西植物), **30**(3):355-361
 Lapointe L. 2001. How phenology influences physiology in deciduous forest spring ephemerals[J]. *Physiol Plantarum*, **113**(2):151-157
 Ma M(马淼), Li B(李博), Chen JK(陈家宽). 2006. Convergent adaptation of desert plants to their arid habitats(荒漠植物的趋同适应)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **26**(11):3 861-3 869
 McKenna MF, Houle G. 2000. Why are annual plants rarely spring ephemerals[J]. *New Phytol*, **148**(2):295-302
 Oguchi R, Hikosaka K, Hiura T, et al. 2006. Leaf anatomy and light acclimation in woody seedlings after gap formation in a cool-temperate deciduous forest[J]. *Oecologia*, **149**(4):571-582
 Qin JM(秦佳梅), Tian H(田洪), Zhang WD(张卫东). 1998. A good garden flower in early spring: *Erythronium sibiricum*(早春绿化良种猪牙花)[J]. *Jilin Agric*(吉林农业), (12):16
 Shi HY(施海燕), Wang YF(王一峰), Gao HY(高宏岩). 2010. Adaptation of anatomical structures of the leaves of *Saussurea stella* Maxim to the alpine environment(星状雪兔子植物叶的解剖结构对高山环境的适应性)[J]. *Guihaia*(广西植物), **30**(5):621-625
 Tang WP(唐为萍), Chen SS(陈树思). 2005. Study on anatomical structure of leaf of *Aquilaria agallocha*(沉香叶解剖结构的研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **25**(3):229-232
 Tang ZH(唐中华), Guo XR(郭晓瑞), Yu JH(于景华), et al. 2007. Effects of low light intensity on changes of soluble sugars, alkaloids and phytohormones in *Catharan thusroseus* seedlings(弱光对长春花幼苗中可溶性糖、生物碱及激素含量的影响)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **27**(11):4 419-4 424
 Xu XL(徐小林), Zheng XF(郑兴峰), Jin B(金彪). 2006. Study on anatomical structure of vegetative organ of *Yucca gloriosa*(凤尾兰营养器官解剖结构研究)[J]. *J Xuzhou Norm Univ*(徐州师范大学学报), **24**(3):64-66
 Zhang JL(张金龙), Hu BZ(胡宝忠). 2009. Research advance in spring ephemerals(早春类短命植物的研究进展)[J]. *J North-east Agric Univ*(东北农业大学学报), **40**(6):122-126

(上接第 332 页 Continue from page 332)

2010. The relationships of *Paeonia ludlowii* and habitat community characteristics(濒危植物大花黄牡丹与生境地群落特征的关系)[J]. *Fore Res*(林业科学研究), **23**(4):487-492
 Tian ZP(田中平), Zhuang L(庄丽), Li JG(李建贵), et al. 2011. Relationship between community structure of wild fruit forests and their environment on north-facing slopes of the Iri Valley(伊犁河谷北坡野果林群落结构及其与环境的关系)[J]. *Chinese J Appl Environ Biology*(应用与环境生物学报), **17**(1):39-45
 Wang YQ(王煜倩), Nie EB(聂二保). 2009. Quantitative analysis of the *Vitex negundo* var. *heterophylla* communities in Taihang Mountain, Shanxi Province(山西太行山南段峡谷区荆条灌丛数量分析)[J]. *Pratacultural Sci*(草业科学), **26**(11):32-36
 Yan N(闫女), Wang D(王丹), Gao YH(高亚卉), et al. 2010.

Genetic diversity of *Acer ginnala* populations at different elevation in Qiliyu based on ISSR markers(七里峪不同海拔茶条槭种群的遗传多样性)[J]. *Sci Silv Sin*(林业科学), **46**(10):50-56

Zhong ZH(张忠华), Hu G(胡刚), Liang SC(梁士楚). 2008. Numerical classification and species diversity of *Cinnamomum burmannii* community in karst hills of Guilin(桂林岩溶石山阴香群落的数量分类及其物种多样性研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **28**(2):191-196
 Zhao JM(赵晶明), Zhang YL(张玉兰), Yu LM(于立明), et al. 2003. The seed selection and its specialwoods foster of *Acer ginnala*(茶条槭良种选择及其专用林培育)[J]. *Special Economic Animal and Plant*(特种经济动植物), **5**:18