

# 星状雪兔子植物叶的解剖结构 对高山环境的适应性

施海燕<sup>1</sup>, 王一峰<sup>2\*</sup>, 高宏岩<sup>3</sup>

(1. 天水师范学院, 甘肃 天水 741001; 2. 西北师范大学 生命科学学院, 兰州 730070; 3. 兰州市八十二中, 兰州 730000)

**摘要:** 对青藏高原东缘两个不同居群的星状雪兔子植物叶的结构进行了显微观察, 观察结果表明: 两种不同居群植物的叶片类型均为等面叶, 表皮细胞单层, 角质层厚, 表皮细胞形状为多边形, 垂周壁平直或弓形。生于海拔 2 850 m 处的星状雪兔子植物, 叶片厚度为 330.66  $\mu\text{m}$ , 上表皮气孔密度为 106.75, 下表皮气孔密度为 144.79; 海拔 2 890 m 处的星状雪兔子植物, 叶片厚度为 537.07  $\mu\text{m}$ , 上表皮气孔密度为 53.6, 下表皮气孔密度为 77.30。两种植物叶片类型虽然均为等面叶, 但明显表现为两种不同的生态类型, 这表明了星状雪兔子植物的叶在无表皮毛保护的情况下对高山环境的适应性并不是单一的。

**关键词:** 青藏高原; 星状雪兔子; 叶; 解剖结构; 适应性

中图分类号: Q944.56 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2010)05-0621-05

## Adaptation of anatomical structures of the leaves of *Saussurea stella* Maxim to the alpine environment

SHI Hai-Yan<sup>1</sup>, WANG Yi-Feng<sup>2\*</sup>, GAO Hong-Yan<sup>3</sup>

(1. Tianshui Normal University, Tianshui 741001, China; 2. College of Life Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China; 3. Lanzhou No. 82 Middle School, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** The anatomical structures of the leaves of *Saussurea stella* Maxim in two different populations in Eastern Qinghai-Tibet Plateau were microscopically observed in this study. The results showed that the leaf types of *S. stella* in both populations were isolateral, the epidermis were single layer, and the cuticle were thicker. The epidermal cells were multiangular, and the anticlinal wall were straight and arched. The leaf thickness of *S. stella* at altitude 2 850 m was 330.66  $\mu\text{m}$ , stoma density of upper and lower epiderm were 106.75 and 144.79, while in 2 890 m altitude, the leaf thickness was 537.07  $\mu\text{m}$ , stoma density of upper and lower epiderms were 53.6 and 77.30 respectively. The result indicated that the leaves of *S. stella* Maxim showed two different ecological types obviously although they both were isolateral leaves, which indicated that the adaptation of the leaves of *S. stella* Maxim to alpine environment was not single without the protection of epidermal hair.

**Key words:** Qinghai-Tibetan Plateau; *S. stella* Maxim.; leaves; anatomical structure; adaptability

叶片作为植物功能器官, 其结构的功能与环境的统一, 反映在其既具有可用于系统学研究的科属结构上的稳定性, 又具有结构饰变, 适应环境的一面

(Cantrill, 1996)。结构是功能的基础, 结构的变化是由生理生态功能的改变而引起的。叶片是植物在进化过程中对环境变化比较敏感且可塑性较大的器

收稿日期: 2009-02-06 修回日期: 2010-70-27

基金项目: 甘肃省高等学校研究生导师科研项目(041-15); 甘肃省自然科学基金(3ZS051-A25-024) [Supported by Scientific Research Program for Postgraduate Tutors in High School of Gansu Province(041-15); Provincial Natural Science Foundation of Gansu(3ZS051-A25-024)]

作者简介: 施海燕(1973-), 女, 甘肃天水人, 硕士, 从事植物学研究, (E-mail) shihaiyan1973@126.com.

\* 通讯作者 (Author for correspondence, E-mail: jack9383@sina.com)

官,环境变化常导致叶的长、宽及厚度,叶表面气孔、表皮细胞及附属物、叶肉栅栏组织、海绵组织、胞间空隙、厚角组织和叶脉等形态解剖结构的响应与适应。青藏高原高山低氧、空气稀薄、气候寒冷、日照辐射强,植物如何适应此种生存环境的问题,近年来已有多人进行了研究(段喜华等,2003;李建明,1996;吴学明,1996;赵庆芳等,2006)。但风毛菊属植物的研究多见于核型、化学成分、植物生理、微形态以及新种发现等方面(邵丽华,1997;黄运平等,1994a,b;任玉琳等,2001;王金玉等,2004;沈冠冕,1998;王淑云,1995;王一峰等,2009)。王文和等(2007)对分布于祁连山海拔5 000 m左右流石滩上的风毛菊属雪兔子亚属的水母雪兔子、鼠曲雪兔子和红叶雪兔子三种植物叶片的解剖结构进行了比较研究,结果表明:叶片表皮细胞均为单层,上下表皮都有气孔分布,气孔不下陷;角质层较厚,叶表面均被单列细胞的表皮毛。三种植物均为异面叶;叶肉栅栏组织较发达,通常由2~3层细胞组成,但栅栏组织细胞排列较疏松;海绵组织存在大量的细胞间隙;叶肉中通气组织发达,且均有不规则裂生性气腔。本文所研究的星状雪兔子属于风毛菊属的雪兔子亚属,但其全株光滑无毛明显不同于其他的风毛菊属植物,因而对其叶的解剖结构进行了研究,以讨论其叶的解剖结构与环境的适应性。

## 1 研究地区概述

研究地区位于甘肃省甘南藏族自治州。该区地处青藏高原东缘,平均海拔为3 500 m,年均气温为1.2℃,月均温从1月的-10℃到7月的11.7℃,无霜期只有30~85 d,而年降水量却有500~700 mm,植被属高寒草甸类型(吴征镒,1980;黄大燊,1997),是甘肃省风毛菊属植物的主要分布地。

## 2 材料和方法

### 2.1 研究材料

星状雪兔子:无茎莲座状草本,全株光滑无毛。叶莲座状,星状排列,线状披针形,长3~19 cm,宽3~10 mm,无柄,中部以上长渐尖,向基部常卵状扩大,边缘全缘,两面同色;紫红色或近基部紫红色;或绿色,无毛。头状花序无小花梗,多数,在莲座状叶丛中密集成半球形的直径为4~6 cm的总花序。小

花紫色。瘦果圆柱状,顶端具膜质的冠状边缘,冠毛白色。外层短,糙毛状,内层长,羽毛状。花果期7~9月(陈艺林等,1999)(图1)。观察所用的材料均采自甘肃省甘南藏族自治州的合作彩龙沟,采集号为2005050的植株生于海拔为2 850 m的阴坡草地,采集号为2005165的植株生于海拔为2 890 m的阳坡草滩。凭证标本存于西北师范大学生命科学学院植物研究所标本室(NWTC)。



图1 星状雪兔子  
Fig. 1 *S. stella* Maxim.

### 2.2 研究方法

2.2.1 解剖结构 野外就地选择正常植株中部的成熟叶片,剪取中脉两侧1.5 cm×1.5 cm的小块,置FAA固定液(70%酒精:甲醛:冰乙酸为18:1:1)中固定和保存。按常规石蜡切片法制片(李正理,1987),厚度10 μm,番红-固绿对染,加拿大中性树脂封片制成永久制片。在Olympus BH-2型光学显微镜下进行观察并照相。叶片及其组织厚度均用毫米测微尺进行测量。

2.2.2 表皮结构 选取成熟叶片连同中脉剪取数段,用沸水浸泡5~10 min,再用冷水浸泡10~20 min,然后倾去冷水,加20%的次氯酸钠(NaClO)溶液,浸泡12~18 h,等材料变白后,取出用清水冲洗干净,分别撕取上下表皮,去掉叶肉组织,经乙醇梯度脱水,二甲苯洗脱,加拿大中性树脂封片制成永久制片。在放大160倍显微镜下进行测量,计算。

## 3 观察结果

### 3.1 叶解剖特征

两个不同居群的星状雪兔子植物叶片类型均为等面叶,表皮细胞单层,叶的上下表面均有较厚的角

质层,生长于 2 850 m 处的星状雪兔子,叶片厚度为 330.66  $\mu\text{m}$ ,其叶片为典型的环栅型,生长于 2 890 m 处的星状雪兔子,叶片厚度为 537.07  $\mu\text{m}$ ,其叶肉无栅栏组织和海绵组织之分(表 1)。

### 3.2 叶表皮特征

两个不同居群的星状雪兔子植物叶片均无表皮毛,气孔类型属无规则型,上下表皮均有气孔分布。两个居群植物叶的上表皮细胞形状为多边形,垂周

壁为弓形;下表皮细胞形状为多边形,垂周壁平直或弓形。2 850 m 处生长的星状雪兔子上表皮气孔的长宽比为 1.03,气孔密度为 106.75,气孔指数为 17,下表皮气孔的长宽比为 1.16,气孔密度为 144.79,气孔指数为 18;2 890 m 处生长的星状雪兔子上表皮气孔的长宽比为 1.33,气孔密度为 53.6,气孔指数为 13,下表皮气孔的长宽比为 1.15,气孔密度为 77.30,气孔指数为 17(表 2)。

表 1 星状雪兔子植物叶解剖结构特征

Table 1 Anatomical characteristics of leaves of *S. stella* Maxim.

材料编号 No.	海拔 (m) Altitude	叶片厚度 ( $\mu\text{m}$ ) Thickness of lamina	角质层 Cutide		叶片类型 Type of limb	图版 Plate
			上表面 Supinesurface	下表面 Superficies nferia		
2005050	2 850	330.66	+	+	等面叶	I:1
2005165	2 890	537.07	+	+	等面叶	I:2

+:有角质层加厚; -:无角质层加厚

表 2 星状雪兔子植物叶表皮特征

Table 2 The characteristics of leaf epidermis of *S. stella*

项目 Item	2005050 (2 850 m)		2005165 (2 890 m)	
	上表皮 Upper	下表皮 Lower	上表皮 Upper	下表皮 Lower
气孔长/宽 L/W of stoma	1.03	1.16	1.33	1.15
气孔密度 SD ( $\text{mm}^2$ )	106.75	144.79	53.6	77.30
气孔指数 SI (%)	17	18	13	17
表皮毛 Epidermal hair	无	无	无	无
表皮细胞形状 Shape	多边形	多边形	多边形	多边形
表皮细胞垂周壁 Anticlinal	弓形	平直或弓形	弓形	平直或弓形
图版 Plate	I:3	I:4	I:5	I:6

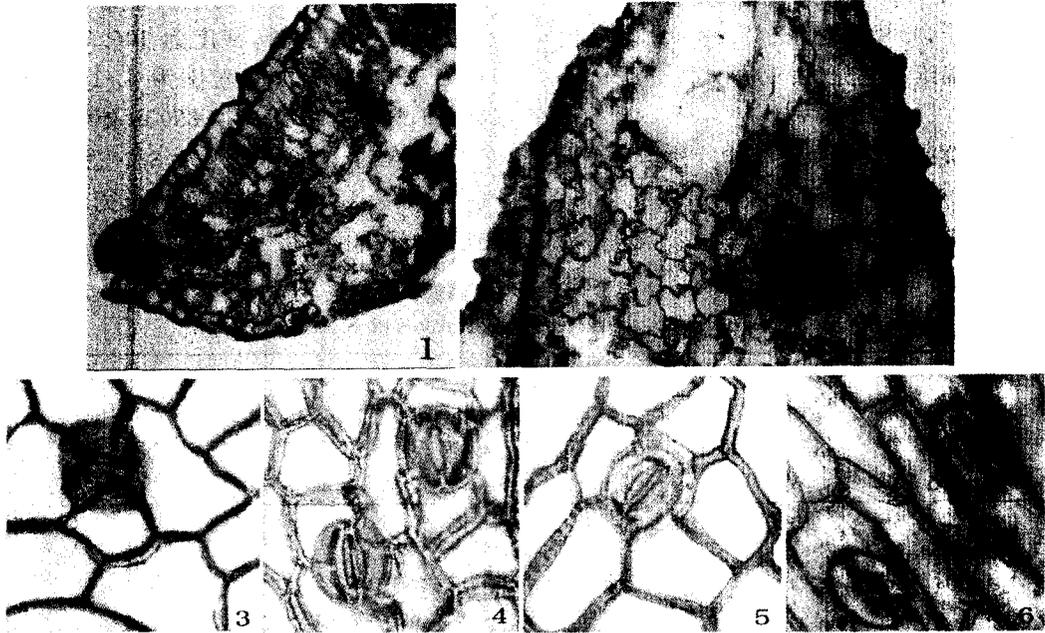
## 4 分析与讨论

风毛菊属的大多数植物,浑身披满了密密的绒毛,这样的毛被一方面可以在白天减少水分蒸腾,防止强光的直接照射给植物体组织带来的灼伤;另一方面,又能防止生长季节中夜间经常出现的负温冻害,以缓冲剧烈变化的昼夜温差对植物体的影响。本文所研究的星状雪兔子植物,叶片光滑无毛,但其上下表面均有较厚的角质层加厚,在植物的叶面上形成了一层保护层,即可以避免强光带来的灼伤,也可以有效地减少体内水分的蒸腾。另外,其紫红色的叶也是对高山强紫外线照射的一种适应方式。

气孔是气体流通的通道,植物通过气孔吸收二氧化碳,排出氧气,并散失水分,较高的气孔密度在增加二氧化碳吸收的同时也会增强水分的散失;而气孔在下表皮的分布往往较上表皮多,这样有利于减少水分蒸发(Rost,1998),防止大气中的尘埃或露

珠堵塞气孔(刘穆,2001)。两种不同居群的星状雪兔子植物,叶的上下表面均有气孔分布,上表皮气孔密度均小于下表皮气孔密度,且上下表皮具有较厚的角质层加厚,这样的叶片结构既可以增加二氧化碳的吸收以提高光和作用的效率,又能减少水分的蒸腾作用。

燕玲等(2002)认为随着早化程度的加强,植物在形态结构上表现出如下的变化趋势:叶肉组织由普通型→过渡型→环栅型→全栅型过渡,其海绵组织逐渐退化消失,栅栏组织趋向发达,通过增加栅栏组织来提高光和效率以适应干旱的环境。在高山植物生长的地区,土壤水分并非全部植物生长的主要矛盾,有的地方土壤水分较充足甚至生活在湿地环境,但仍然表现为旱生结构,这可能是由于高山地区低温冻土使水的粘度增大,原生质的透水性降低,阻碍了植物对土壤水分的吸收,使植物处于生理性干旱之中。即使植物处于生理性干旱情况下,但其单位面积下的叶肉细胞变小,层次增多,也增大了叶肉



图版 I 两种不同居群星状雪兔子植物叶片解剖结构特征  
 Plate I Anatomical structure characteristics of two different populations leaf of *S. stella* Maxim  
 1. 3. 4. 星状雪兔子 *S. stella* Maxim (2 850 m); 2. 5. 6. 星状雪兔子 *S. stella* Maxim (2 890 m)

细胞面积与叶面积之比,从而提高水分的利用效率(王为义,1984)。而本文研究的两个不同居群的星状雪兔子植物,叶片类型虽然都为等面叶,但其叶片结构却明显地表现为两种生态型。生长在海拔2890m处的星状雪兔子植物,其叶肉没有栅栏组织与海绵组织之分,而生长在海拔2850m处的星状雪兔子植物,其叶的上下表面均有两层栅栏组织,叶片结构为典型的环栅型。从其叶片结构来看,叶肉组织没有分化的星状雪兔子,叶片厚度为 $537.07\ \mu\text{m}$ ,明显大于叶片为环栅型的星状雪兔子(叶片厚度为 $330.66\ \mu\text{m}$ ),其叶表面气孔分布虽然较少(上表皮气孔密度为53.6,下表皮气孔密度为77.30)但其叶肉组织存在着较大的裂隙,有着较好的贮气作用,在空气稀薄的情况下可以弥补大气中二氧化碳的缺乏,提高植物光合效率;叶片结构为环栅型的星状雪兔子植物,叶片虽然较薄,但其叶表面分布有较大量数的的气孔(上表面气孔密度为106.75,下表面气孔密度为144.70),增加了周围环境中二氧化碳进出植物体的通道,仍可以有效解决光合作用中二氧化碳吸收的问题。从其生境来看,叶肉组织没有分化的星状雪兔子,生于阳光充足的阳坡草滩,其较厚的

叶片,一方面可以提高光和作用效率,另一方面也可以减少体内水分的蒸腾,增强叶片的保水性;而叶片结构为环栅型的星状雪兔子生于阳光不强烈的阴坡草地,其叶片较薄,但其环栅型的结构提高了植物叶片栅表比,一方面使其在阳光不充足的生境下,可以充分利用衍射光来增加光和作用的效率,另一方面也提高了水分的利用效率。

两个不同居群的星状雪兔子植物,海拔只相差了40m,但在其叶片的解剖结构上却有着如此大的差异,这表明了星状雪兔子植物的叶片在无表皮毛保护的情况下对高山环境的适应性并不是单一的,但其在演化过程中受环境因素影响而保留下来的结构特点均是向降低蒸腾、增强储水性以及提高光和效率三个方面发展。

#### 参考文献:

- 王为义. 1984. 高山植物结构特异性的研究[J]. 高原生物学集刊, (4): 19-23  
 刘穆. 2001. 种子植物形态解剖学导论[M]. 北京: 科学出版社: 225  
 李正理. 1987. 植物制片技术[M]. 北京: 科学出版社: 138-148  
 陈艺林, 石铸. 1999. 中国植物志(78卷, 2分册)[M]. 北京: 科

学出版社

吴征镒. 1980. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社: 624—629

黄大荣. 1997. 甘肃植被[M]. 甘肃: 科学技术出版社

Cantrill DJ, Nichols GJ. 1996. Taxonomy and palaeoecology of Early Cretaceous(Late Albian) angiosperm leaves from Alexander Island Antarctica[J]. *Revista Paleontologica*, **92**: 1—28

Duan XH(段喜华), Sun LF(孙立夫), Ma SR(马书荣), et al. 2003. The studied of blade of *Adenophora potaninii* in different altitude(不同海拔高度泡沙参叶片形态研究)[J]. *Bull Bot Res* (植物研究), **23**(3): 334—336

Huang YP(黄运平), Yin ZT(尹祖棠). 1994a. A study on karyotypes of 4 species of *Saussurea* from north China(四种风毛菊属植物的核型研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **14**(4): 357—360

Huang YP(黄运平), Yin ZT(尹祖棠). 1994 a. The preliminary study on the micromorphological features of achene surfaces of *Saussurea*(风毛菊属植物果皮微形态特征及分类意义的初步研究)[J]. *Bull Bot Res*(植物研究), **14**(4): 395—402

Li JM(李建明). 1996. The comparative study on the adaption of *Dasiphora fruticosa*'s anatomical characters in different ecological environment(不同生境的金露梅解剖特征比较)[J]. *J Qinghai Normal Univ; Nat Sci Edi*(青海师范大学学报·自然科学版), (1): 45—47

Ren YL(任玉琳), Yang JS(杨峻山). 2001. Study on chemical constituents of *Saussurea nivea*(银背风毛菊化学成分的研究)[J]. *Chin Pharm J*(中国药学杂志), **36**(2): 87—89

ROST T. 1998. Plant Biology[M]. Belmont, California: Wadsworth Publishing Company

Shen GM(沈观冕). 1998. Two new species of *Saussurea* DC. (Compositae) from Xinjiang, China(新疆风毛菊属二新种)[J]. *Acta Phytotax Sin*(植物分类学报), **36**(3): 273—275

Tai LH, (邵丽华). 1997. A study on karyotypes of *Saussurea runcinata*(碱地风毛菊的核型分析)[J]. *J Inner Mongolia*

*Normal Univ*(内蒙古师大学报), (2): 52—54

Wang JY(王玉金), Liu JQ(刘建全). 2004. A preliminary investigation on the phylogeny of *Saussurea* (Asteraceae: Cardueae) based on chloroplast DNA trnL-F sequences (利用叶绿体 DNA trnL-F 序列初步探讨菊科风毛菊属的系统发育)[J]. *Acta Phytotax Sin*(植物分类学报), (2): 42—59

Wang SY(王淑云), Han QZ(韩全忠). 1995. A new variety of *Saussurea* China(中国风毛菊属一新变种)[J]. *Bull Bot Res* (植物研究), **15**(2): 187—188

Wang WH(王文和), Yu JJ(于建军), Tian HL(田晔林). 2007. Comparative studies on the anatomical structures of leaf of 3 species in *Saussurea*(风毛菊属 3 种植物叶的解剖结构比较)[J]. *Bull Bot Res*(植物研究), **27**(3): 275—278.

Wang YF(王一峰), Wang JL(王俊龙), Wu YQ(吴依茜). 2009. Floristic study on the genus *Saussurea* in Gansu and floristic relations with its adjacent regions(甘肃风毛菊属植物区系地理研究及与邻近地区区系的关系)[J]. *Guihaia*(广西植物), (1): 103—110

Wu XM(吴学明). 1996. A study on anatomical characteristics of leaves and stems of five alpine plants used for Tibetan medicine in Qinghai-Tibetan Plateau(五种高山藏医用植物茎叶的结构特征研究)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), **16**(1): 56—60

Yan L(燕玲), Li H(李红), Liu Y(刘艳). 2002. The anatomical ecology studies on the leaf of 13 species in *Caragana* Genus(13 种锦鸡儿属植物叶的解剖生态学研究)[J]. *J Arid Land Res Envi*(干旱区资源与环境), **16**(1): 100—105

Zhao QF(赵庆芳), Ma RJ(马瑞君), Du GZ(杜国桢), et al. 2006. Ecological signification of the leaf structure of three species of *Ligularia* in different altitudes(不同海拔三种橐吾属植物叶结构的适应意义)[J]. *J Lanzhou Normal Univ; Nat Sci Edi*(兰州大学学报·自然科学版), **42**(1): 33—39



(上接第 646 页 Continue from page 646)

Pan XY(潘晓云), Geng YP(耿宇鹏), Zhang WJ(张文驹), et al. 2006. Cover shift and morphological plasticity of invasive *Alternanthera philoxeroides* along riparian in South China(喜旱莲子草沿河岸带不同生境的盖度变化及形态可塑性)[J]. *J Plant Ecol*(植物生态学报), **30**(5): 835—843

Picman J, Picman AK. 1984. Autotoxicity in *Parthenium hysterophorus* and its possible role in control of germination[J]. *Biochemical Systematics Ecol*, **12**(3): 287—292

Pigliucci M. 2001. Phenotypic Plasticity: Beyond Nature and Nurture[M]. Baltimore, MD, Johns Hopkins University Press

Sultan SE, Bazzaz FA. 1993. Phenotypic plasticity in *Polygonum persicaria*. III. The evolution of ecological breadth for nutrient environment[J]. *Evolution*, **47**(4): 1 050—1 071

Tang SC(唐赛春), Lü SH(吕仕洪), He CX(何成新), et al. 2008a. Distribution and harmful effects of alien invasive plant *Parthenium hysterophorus* in Guangxi(外来入侵植物银胶菊在广西的分布与危害)[J]. *Guihaia*(广西植物), **28**(6): 197—200

Tang SC(唐赛春), Lü SH(吕仕洪), He CX(何成新), et al.

2008b. The alien invasive plants in Guangxi(广西的外来入侵植物)[J]. *Guihaia*(广西植物), **28**(6): 775—779

Tsutsui ND, Suarez AV, Holway DA, et al. 2000. Reduced genetic variation and the success of an invasive species[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, **97**(11): 5 948—5 953

Williams DG, Mack RN, Black RA. 1995. Ecophysiology and growth of introduced *Pennisetum setaceum* on Hawaii: the role of phenotypic plasticity[J]. *Ecology*, **76**(5): 1 569—1 580

Willson MF. 1983. Plant Reproductive Ecology[M]. John Wiley & Sons, New York.

Xu CY, Zhang WJ, Fu CZ, et al. 2003. Genetic diversity of alligator weed in China by RAPD analysis[J]. *Biodiversity Conservation*, **12**(4): 637—645

Yao H(姚红), Tan DY(谭敦炎). 2005. Size-dependent reproductive output and life-history strategies in four ephemeral species of *Trigonelia*(胡卢巴属 4 种短命植物个体大小依赖的繁殖输出与生活史对策)[J]. *J Plant Ecol*(植物生态学报), **29**(6): 954—960