

文章编号: 1000-0240(2004)04-0474-08

乌鲁木齐河源区不同海拔的火绒草 叶片结构特征的比较研究

安黎哲^{1,2}, 戴怡龄², 陈 拓¹, 徐世健^{1,2},
张满效¹, 刘艳红², 程国栋¹

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 兰州大学 干旱与草地农业生态教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 采用 PEG 和 Epon-812 二次包埋方法, 利用光学显微镜和扫描电子显微镜对乌鲁木齐河源区海拔 4 000 m、3 400 m、2 500 m 三种不同高度的火绒草 (*Leontopodium leontopodioides* (Willd.) Beauv.) 叶片剖面及表面结构进行了观察. 结果表明: 火绒草叶片既具有中生植物又兼有旱生和湿生植物的部分结构特征; 其叶片厚度、表皮细胞外壁角质层表面、外角质层蜡质分泌物的有无、表皮细胞形状、气孔器分布特征、保卫细胞极区“T”型角质加厚程度、气孔开口(长/宽)、气孔密度、维管束形态、CTR 值、叶肉细胞叶绿体含量等性状特征, 在不同海拔的火绒草间呈现出明显差异; 而表皮的气孔水平位置类型、毛状附属器等性状则差异较小. 数值分析火绒草叶结构各类性状以及不同性状状态的组合, 显示出个体形态的多样性及其对高山环境和海拔高度的适宜性特征.

关键词: 火绒草; 叶; 形态结构; 生境; 海拔

中图分类号: Q945.11 **文献标识码:** A

火绒草 (*Leontopodium leontopodioides* (Willd.) Beauv.) 为菊科火绒草属多年生草本植物, 广布于我国新疆、青海、甘肃、东北等地, 多生于高山草甸、山坡、山埂^[1]. 相关研究已经证实其不但具有降血糖^[2]、消炎益肾、抗感染^[3]等药用价值, 而且药性缓和、毒副作用小. 已有的研究还表明, 不同生境下的药用植物, 药效有显著差异^[3]. 显然, 植物本身的基本生物学特征与环境生态因子间的相关性是这种差异的基础. 近 20 a 来, 叶表皮性状特征观察不仅被用于种属间分类和系统关系的探讨^[4~6], 还被用于植物形态结构变化与自然或人工胁迫间相关性的分析^[7,8], 更有研究将植物叶表皮形态结构作为检测基因渗入及表达程度的指标^[9]. 但对不同居群的同种植物叶形态解剖结构特征的比较研究相对较少, 国内仅见对高山植物^[10,11]、沙冬青^[8] (*Anemoptanthus morgolicus*)、黄华属 (*Thermopsis*)^[12]、高山栎属 (*Quercus*)^[13]、骆驼蓬属

(*Peganum*)^[14]及沙生植物^[15]有相关的生态学比较研究.

本文通过对不同海拔生境下火绒草叶片作光学显微镜和扫描电子显微镜观察, 了解其形态结构特征与环境因子的关系, 揭示随海拔的升高同种植物在形态结构上对环境的响应, 阐释植物的形态结构对环境的适应机制, 也为火绒草的进一步开发利用提供基础理论资料.

1 材料和方法

1.1 材料

火绒草分别采自乌鲁木齐河源区大西沟海拔 4 000 m、3 400 m 和 2 500 m 处.

1.2 方法

1.2.1 取材方法

野外取 3 种不同海拔(4 000 m、3 400 m、2 500 m)生境的不同地点、不同植株火绒草的同一叶位

收稿日期: 2004-01-06; 修订日期: 2004-04-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(30170083); 甘肃省农业生物技术研究与应用开发项目; 甘肃省科技攻关项目(90302010)资助

作者简介: 安黎哲(1963—), 男, 甘肃天水人, 研究员, 1997年在兰州大学获博士学位, 现主要从事分子生物学和环境生物学方面的研究工作. E-mail: lizhean@lzu.edu.cn

的叶片, 平行取样 3 份, 缓冲液洗除表面污物后, 用 FAA 固定并保存。

1.2.2 制样方法

(1) 光镜制样. 固定后的材料用重蒸水清洗, 再用一定浓度梯度的 PEG 置换和纯 PEG 包埋^[16]. 用 PEG 作置换渗透和第一次包埋, 替代常规处理中的脱水步骤, 减少了抽提的发生, 有效保存了细胞的完整结构活性, 但其耐受切割的结构强度较差. 为了有利于作 $1\ \mu\text{m}$ 薄片切片观察, 再用 Epon-812 进行二次包埋. 用 LKB-2088V 型超薄切片机切成 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 的薄片. 切片分别用甲苯胺兰作非特异性结构染色, 考马斯亮兰作组织内总蛋白质定性染色, 苏丹黑作脂类组织定性染色处理. 在 Nikon III 型光学显微镜下观察切片并照相。

(2) 扫描电镜制样. 样品固定程序按常规步骤操作: CJD-1 型 CO_2 临界点干燥仪作干燥; 干燥后的样品用双面胶固定在样品台上. 由于火绒草叶表毛状体密集, 因此在解剖显微镜下选择叶表的部分区域拔去表皮毛, 以便于观察叶表的其它结构. JFC-1100 型离子溅射仪被覆 Au-Pa 导电层. 在 KYKY-1000B 扫描电镜下观察及照相。

1.2.3 统计分析方法

(1) 气孔密度的计算. 气孔密度取 10 个随机单个视野气孔密度的算术平均值^[4]. 选择每种样品 SEM 照片中的 10 个随机视野:

$$D = N / S \quad (1)$$

式中: D 为单个视野气孔密度 (个 mm^{-2}); N 为单个视野内气孔个数; S 表示单个视野面积。

(2) 气孔开口大小及面积. 在每种样品的扫描电镜照片上, 随机取 20 个气孔, 用游标卡尺分别测量 20 个气孔开口^[6]的长与宽, 取其算术平均值, 然后除以电镜照片的实际放大倍率, 即为每个气孔开口的实际长和宽, 并依此计算气孔开口大小 (长/宽) 以及气孔面积 (长 $\times$ 宽)。

(3) 气孔在表皮上的位置类型. 气孔在表皮上的位置类型是按照理论分为拱起气孔和内陷气孔^[17]. 随机检查每种样品的 50 个气孔, 记录每种样品气孔在表皮上的位置类型。

(4) 气孔器分布特征. 在每种样品的扫描电镜照片上随机取 20 个视野, 观察气孔是单个随机分布或聚集成群^[6]。

(5) 栅栏系数 CTR 的计算. 栅栏系数指的是栅栏组织厚度与海绵组织厚度之比^[11, 18]:

$$CTR = PT / ST \quad (2)$$

式中: PT 为栅栏组织厚度 (mm); ST 为海绵组织厚度 (mm). 两种薄壁组织厚度均按随机的 20 个视野中测量值的算术平均值计算。

(6) 栅栏细胞系数的定义及算法. 栅栏细胞系数指单个栅栏细胞本身长径之比 ($\mu\text{m} / \mu\text{m}$). 每种样品中随机取 50 个栅栏细胞, 用游标卡尺测量其长径及短径, 取算术平均值, 得平均的栅栏细胞的长径值和短径值, 二者之比即为栅栏细胞系数。

2 结果

2.1 光镜薄片下叶片的结构特征

3 种海拔的火绒草叶片显微结构差异见表 1。

2.1.1 叶表皮细胞及表面结构

分析表明, 火绒草随着生境海拔的升高, 叶表皮细胞趋于近等径 (表 1), 体积越小, 形状越规则。

2.1.2 叶片横切面结构特征

栅栏细胞系数及其组织厚度、叶片厚度差异 (表 1) 显示三者与海拔呈正相关 (图 1). 薄壁组织细胞内含有大量贴壁排列的叶绿体, 且海拔 $4\ 000\ \text{m}$ 、 $3\ 400\ \text{m}$ 生境中的火绒草叶肉组织细胞中含有较 $2\ 500\ \text{m}$ 海拔生境的叶肉细胞数量更多、体积更小的叶绿体 (图 2 中的 (a)、(b)、(c)).

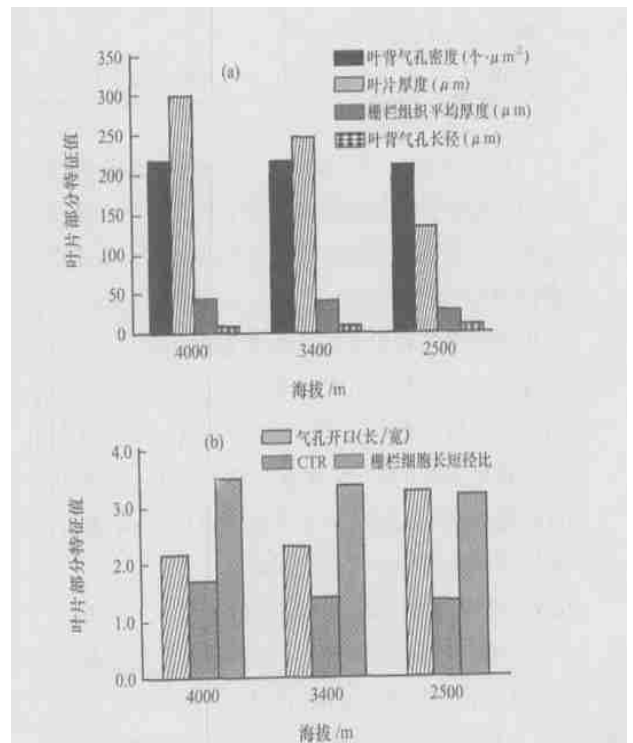


图 1 海拔高度与叶片部分结构特征关系

Fig. 1 Part character values of leaf morphological structure changing with elevation

表 1 乌鲁木齐河源区不同海拔下火绒草叶片横切面显微结构特征的比较
Table 1 Altitude-dependent microstructural characteristics of leaf transverse section
of *Leontopodium leontopodiodes* at the source area of the Fújūnqí River

横切面显微结构特征	海拔/ m			备 注
	4 000	3 400	2 500	
表皮细胞排列	细胞相接, 规则排列	细胞相接, 规则排列	细胞相嵌, 排列不规则	图 2 中的(a)、(b)、(c)
表皮细胞形状	较规则的近等径球形	较规则的近等径球形	不规则多边形, 角隅处有加厚	图 2 中的(a)、(b)、(c)
表皮细胞短径/μm	11.00	11.20	15.53	——
表皮细胞长短径比	1.35	1.34	0.73	——
栅栏细胞排列	疏松排列	疏松排列	紧密排列	图 2 中的(a)、(b)、(c)
栅栏组织平均厚度/μm	44	42	28	——
栅栏细胞长径/μm	16~26	16~28	22~40	——
栅栏细胞长短径比(栅栏细胞系数)	3.53	3.38	3.20	——
叶面类型	异面叶	异面叶	异面叶	图 3 中的(d)、(e)、(f)
叶片厚度/μm	300	247	134	——
栅栏组织层数	2 层	2 层	1 层	图 2 中的(a)、(b)、(c)
海绵组织细胞排列	疏松	疏松	紧密	图 2 中的(a)、(b)、(c)
近轴面有无气孔	有	有	无	图 2 中的(d)、(e)、(f)
气孔在表皮上的位置类型	拱起	拱起	拱起	图 2 中的(j)、(k)、(l)
叶表中脉附近有无气孔窝	无	无	有	——
表皮角质加厚均匀度	均匀	均匀	不均匀	图 3 中的(g)、(h)、(i)
表皮毛类型	单列毛	单列毛	单列毛	图 3 中的(a)、(b)、(c)
栅栏细胞内含叶绿体个数	8~12	3~14	8~10	——
胞间隙	数量多, 面积大	数量多, 面积大	数量少, 面积小	图 2 中的(a)、(b)、(c)

在高海拔 4 000 m 和 3 400 m 生境的火绒草叶片内, 维管束鞘细胞多呈球形, 体积较大, 内含叶绿体较丰富; 其环绕在维管束组织形成一个非常规则的园环(图 2 中的(g)、(h)), 可明显区别于叶肉组织细胞和维管束组织的内部结构. 海拔 2 500 m 生境的火绒草其叶片的维管束鞘细胞形态不规则, 内含叶绿体数量不及海拔 4 000 m 和 3 400 m 的叶维管束鞘细胞(图 2 中的(g)、(h)、(i)); 且分化程度较低, 间断嵌入维管束组成细胞(图 2 中的(i)), 难区分于周围的叶肉组织细胞.

2.2 扫描电镜下叶片的结构特征

3 种海拔的火绒草叶片细微结构差异见表 2.

2.2.1 表皮及其表面细微结构

3 种海拔的火绒草叶片表面均密被绵毛, 毛间相互交缠(图 4 中的(d)、(e)、(f)), 毛长轴近平行于叶表无规则地螺旋伸长(图 4 中的(d)). 海拔 2 500 m 的火绒草叶片表面, 围绕每根表皮毛的基

部有约 4 个表皮细胞呈互嵌式排列(图 4 中的(c)). 3 种海拔生境的火绒草叶表均覆盖有脂质衍生物膜(图 3 中的(g)、(h)、(i)). 高海拔生境(4 000 m 和 3 400 m)中的两种火绒草叶表呈密集不规则条纹状褶皱(图 4 中的(a)、(b)), 叶表纹饰属脊状角质层, 且呈现不规则分叉状突起, 分叉数目不定, 因此表皮细胞轮廓不清晰(图 4 中的(a)、(b)); 低海拔(2 500 m)叶表则为光滑的角质层, 未见脊状褶皱, 表皮细胞为不规则多角形, 细胞彼此嵌合, 胞间凸缘发达, 垂周壁为深波状(图 4 中的(c)).

2.2.2 气孔及断面结构

由表 2 和图 1(a)、(b)可见, 随着生境海拔的增高, 气孔密度增大, 气孔开口减小. 叶背气孔长径与海拔高度负相关. 而不同海拔生境的火绒草叶气孔面积作为指数不足以解释海拔高度给叶片气孔形态结构带来的影响. 从 3 种海拔生境的火绒草叶 CTR 值比较可见, 生境海拔越高, CTR 值越高.

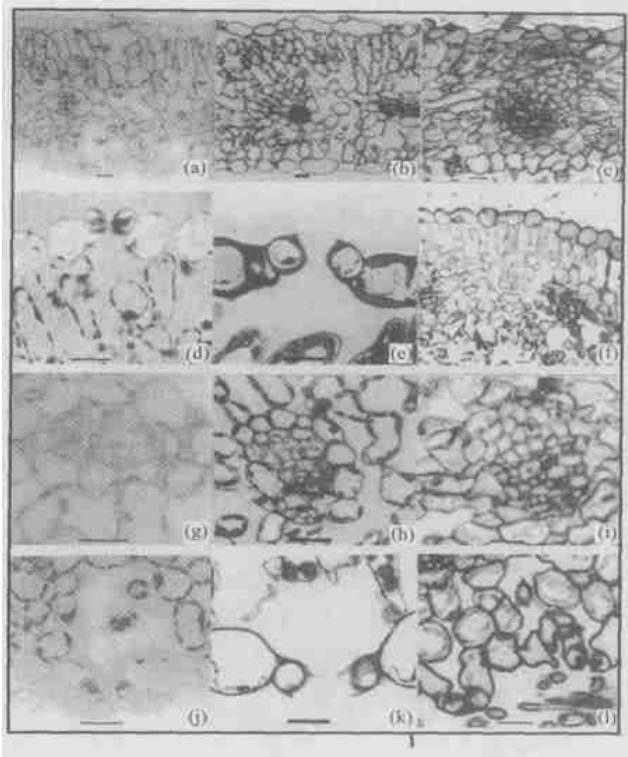


图 2 光镜下的火绒草叶片结构特征

(a)、(d)、(g)、(j)为海拔 4 000 m 火绒草；(b)、(e)、(h)、(k)为海拔 3 400 m 火绒草；(c)、(f)、(i)、(l)为海拔 2 500 m 火绒草；(a)、(b)、(c)为叶片横切面；(d)、(e)、(f)为上表皮及气孔器；(g)、(h)、(i)为维管束横切面结构；(j)、(k)、(l)为下表皮及气孔器

Fig. 2 The structural characteristics of leaf of *Leontopodium leontopodioides*(Willd.) Beauv. observed in light microscope

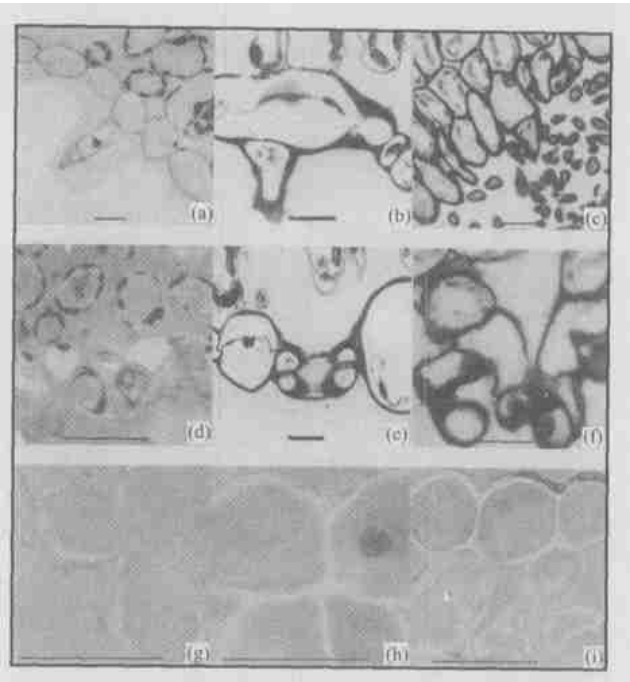


图 3 光镜下的火绒草叶片结构特征

(a)、(d)、(g)为海拔 4 000 m 火绒草；(b)、(e)、(h)为海拔 3 400 m 火绒草；(c)、(f)、(i)为海拔 2 500 火绒草；(a)、(b)、(c)为下表皮表皮毛；(d)、(e)、(f)为下表皮气孔器及海绵组织；(g)、(h)、(i)为表皮脂质衍生物膜

Fig. 3 The structural characteristics of leaf of *Leontopodium leontopodioides*(Willd.) Beauv. observed in light microscope

表 2 乌鲁木齐河源区不同海拔下火绒草叶片细微结构特征的比较

Table 2 Altitude - dependent fine structural characteristics of leaf transverse section of *Leontopodium leontopodioides* at the source area of the Fūnqí River

横切面显微结构特征	海拔/ m			备 注
	4 000	3 400	2 500	
表皮有无蜡质	有, 颗粒状纹饰	无	无	—
表皮细胞外切向壁厚度/ μm	0.85	0.82	0.75	—
气孔在表皮上的水平位置类型	拱起	拱起	拱起	图 4 中的 (g)、(h)、(i)
气孔保卫细胞两极有无“T”型角质加厚	有	有	无	图 4 中的 (g)、(h)、(i)
叶背气孔器密度/(个 μm^{-2})	217.60	215.37	212.08	—
叶背气孔长径	9.8	10.0	11.5	—
叶背气孔开口(长/宽)	2.18	2.33	3.28	—
叶背气孔面积/ μm^2	44.1	43.0	40.25	—
叶片类型	异面叶	异面叶	异面叶	图 4 中的 (j)、(k)、(l)
栅栏组织细胞层数	两至三层	两至三层	单层	图 4 中的 (j)、(k)、(l)
CTR	1.70	1.42	1.36	—

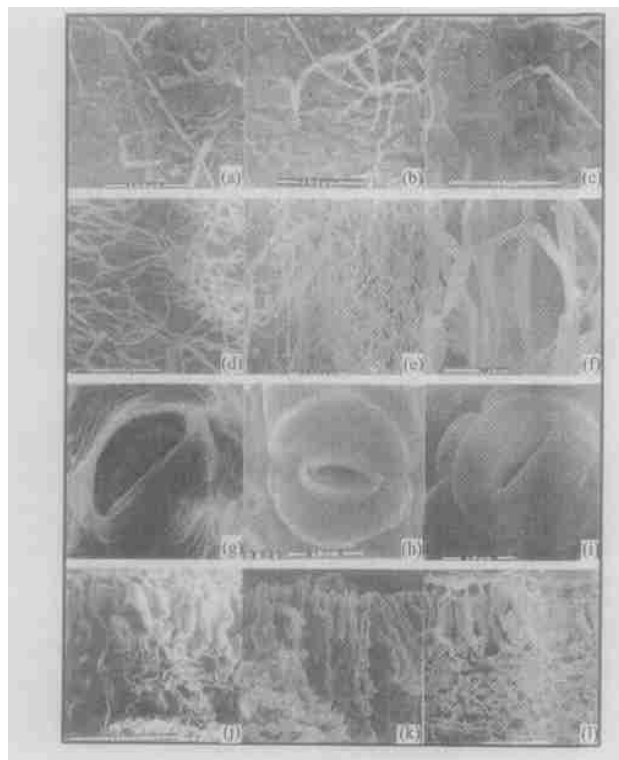


图 4 电镜下火绒草的叶片结构特征

(a)、(d)、(g)、(j) 为海拔 4 000 m 火绒草; (b)、(e)、(h)、(k) 为海拔 3 400 m 火绒草; (c)、(f)、(i)、(l) 为海拔 2 500 m 火绒草; (a)、(b)、(c) 为叶上表皮; (d)、(e)、(f) 为叶表毛状体; (g)、(h)、(i) 为气孔; (j)、(k)、(l) 为叶断面

Fig. 4 The structural characteristics of leaf of *Leontopodium leontopodioides* (Willd.) Beauv. observed in scanning electron microscopy

3 讨论

乌鲁木齐河源区位于北天山山脉中段,属高海拔山地,空气稀薄而干燥、透明度大、地势高、晴日多,太阳辐射量大、短波辐射尤强,劲风、低温、昼夜温差大、气候寒冷、水分供应迥异、 O_2 分压和 CO_2 分压低、湿度小。白昼接受大量的太阳辐射热,近地面的气温较高,致使植物蒸腾强烈,失水加快,从而易受直接干旱伤害^[19,20]。随着海拔的升高,月平均温度减小,日温较差变大^[21],高山植物光合作用的最适温度降低。夜晚,由于空气干燥少云,地面散热快,温度剧烈下降,致使夜间温度较白昼过低接近 $0^{\circ}C$ ^[22]。由于温度较低,土壤中水分不易被植物吸收,而使植物遭受“生理性干旱”^[10]。在高山地区,随着海拔升高,生存环境对植物来说越来越不利。能在这种极端环境条件下生存下来的植物,形成了抵御低温冰冻胁迫等完成生活史的特殊形态结构和生理机制。

火绒草叶片表皮细胞均为单层,气孔没有下陷,属异面叶等特征。从生态类型看,上述特征说明火绒草属于中生植物^[23]。叶表被覆的角质膜,除有不透水性外,还能抵抗微生物的侵袭^[24];其加厚均匀度与海拔呈正相关,说明随生境海拔高度的增加,昼夜温差增大, O_2 分压及 CO_2 分压降低,脂质层平均表面积变大以增强叶片的保水能力,有利于叶表水分蒸腾及其运输机制的平衡调节^[25]。而高海拔火绒草叶表的脊状角质层能够提高叶表的结构强度^[10],抵御高海拔强气流变化的伤害。马永贵等^[23]认为,虽然高海拔的火绒草叶片有较厚的角质层,但较典型的旱生植物的角质层薄得多,单表皮,气孔不下陷,说明火绒草与旱生植物有差别,这种差别与植物整个类群的“遗传保守性”有关。气孔长宽比值的比较显示种内不同生境居群差异较明显,提示气孔开度主要与环境变化相关,高海拔带来的空气密度降低,光照增强,使叶片气孔密度和开口度增大,加大了呼吸面积,从而补偿呼吸效率,增加通气量^[19],使火绒草的气孔结构具有较强的抗逆特性。对于取自海拔 2 500 m 以上的火绒草,毛状体的结构差异不大,显示叶表毛状体的结构特征不宜作为区分种内不同居群的参考指标。火绒草叶表密被的特殊毛状体具有反射和绝热保暖作用,可以使长期暴露于强紫外辐射下的叶肉组织不至于过热,促进水分及无机物的运输,避免因过分蒸腾而使细胞失去膨压导致的植物体萎焉和枯死^[26],显示火绒草具有部分旱生植物的结构特点。据此认为,高山植物在水分供应的限制和表皮毛的发生之间是因果关系,而非作用关系。说明火绒草叶片具有典型的适应高山生境的演化结构,这与邱如虎等^[19]、马永贵等^[23]的结果较为一致。另外,叶表气孔拱起与浓密的表皮毛密切相关,减少疾风对气孔伤害的同时保存了气孔周围的热量,有利气孔与外界气体交换的自然进行,区域性的提高了 O_2 、 CO_2 分压,增强呼吸作用。

高海拔的火绒草栅栏组织厚、叶肉细胞长短径比和 CTR 值较大、通气组织较发达、维管束中厚角组织等支持性结构增加。高海拔生境叶的栅栏组织层数较多(表 1),间接反映出火绒草叶所处生境的光照强弱。已有的较多研究认为,高海拔生境的植物叶片栅栏组织层数增加与生境地高山强紫外辐射、生理性“干旱”以及空气稀薄等特定环境条件的长期作用有关^[10,11]。多层的栅栏组织细胞可以提高栅/表比,有利于光合作用的有效积累,防止强

辐射对叶肉的损伤。一般认为,高山地区低温冻土,细胞原生质透水性降低。随着海拔升高,叶片单位面积下叶肉细胞变小,长短径比增大,叶肉组织面积与叶面积比增大,有利于叶绿体垂直叶表排列,大大提高了光合作用效率及植物对水分的利用率^[27]。高海拔的火绒草叶片内栅栏细胞系数较大,说明海拔增高带来的强短波辐射,使叶片栅栏细胞产生了这种保护性的稳定遗传结构^[28],防止叶面温度升高引起的组织灼伤。由于栅栏组织位于叶肉组织内直接受太阳辐射的一侧,建立起其它薄壁叶肉细胞与外界环境间的一层屏障。高海拔生境的火绒草其叶片 *CTR* 值最高,表明高海拔的火绒草叶片已经形成了防止水分过多散失的适应性结构特征。发达的通气组织是为了弥补大气中 O_2 及 CO_2 的不足而形成的适应性结构,提高植物光合效率,有利于高山植物短期内的生长和发育^[27],同时还起到了减轻植物体比重、增强支撑及减缓短生育期与低 CO_2 浓度二者矛盾的作用。

从研究结果可见,火绒草叶片形成的适应性结构特征,部分表现中生植物结构和生理上的改变是多种因素长期作用和积累的结果。本实验结果不完全支持邱如虎等^[19]、马永贵等^[23]的观点;并认为,旱生植物叶结构特征并非唯一的,多样性在个体生态中也存在稳定的多态性。虽然有人提出寒冷更易引起旱生结构^[29],但从海拔 4 000 m 和海拔 2 500 m 生境的火绒草叶片解剖结构的特征来看,容易引起旱生结构的生态因子不一定单纯是低温,而更可能是多种生态因子的共同作用。另一方面,由于光照是植物形态建成中的重要生态因子之一,生长在不同光照下的火绒草叶片形态结构和叶绿素含量具有明显差异。但对应于同一物种,是否出现叶片解剖结构的新特征,或只是在原有结构的基础上增强或减弱,则将取决于相应生态因子和遗传变异发生的几率。

参考文献(References):

- [1] Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences. The Atlas of Higher Plants in China [M]. Beijing: Science Press, 1983. 467. [中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴 [M]. 北京: 科学出版社, 1983. 467.]
- [2] Jiao Shuping, Zhang Liming. Studies on the hypoglycemic effect of common edelweiss (*Leontopodium leontopodioides*) [J]. Chinese Herbs. 1997, 28(1): 673 - 675. [焦淑萍, 张立明. 火绒草降血糖作用的初步研究[J]. 中草药, 1997, 28(1): 673 - 675.]
- [3] Wu Yihang. Study on the bacteriostasis in vitro of *Leontopodioides* extractives [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2000, 11(4): 289 - 290. [伍义行. 火绒草抑菌作用试验研究[J]. 时珍国医国药, 2000, 11(4): 289 - 290.]
- [4] Lei Yun, Liu Qihong, Wang Zhengxing. A study on epidermal characters of leaves of several populations in *Euchresta* [J]. Journal of Central China Normal Uni., 1996, 30(2): 216 - 221. [雷耘, 刘启宏, 汪正祥. 几种山豆根属植物叶表皮特征的研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 1996, 30(2): 216 - 221.]
- [5] Meng Renxian, Zhou Zhongze, Wang Shaolin. A study on foliar epidermis of genus *polyonum* in Anhui [J]. Journal of Anhui Uni. (Natural Science), 1997, 21(4): 81 - 93. [蒙仁宪, 周忠泽, 王绍林. 安徽蓼属植物叶表皮特征的研究[J]. 安徽大学学报, 1997, 21(4): 81 - 93.]
- [6] Zheng Yan, Gong Jie. Anatomical studies on stem of *sedum* from Anhui Province [J]. Plant Research, 2001, 24(3): 239 - 242. [郑艳, 巩劼. 安徽景天属(*Sedum*)植物叶表及研究[J]. 植物研究, 2001, 24(3): 239 - 242.]
- [7] Zhao Cuixian, Huang Zichen. A study on xeromorphic structures of primary xerophil in the Tengger Desert [J]. Acta. Botanica Sinica. 1981, 23(4): 278 - 283. [赵翠仙, 黄子琛. 腾格里沙漠主要旱生植物旱生结构的初步研究[J]. 植物学报, 1981, 23(4): 278 - 283.]
- [8] Liu Jiaxiong. Xeromorphic structures of various types of plants in deserts [J]. Journal of Ecology and Xerophil, 1982, 6(4): 314 - 319. [刘家琼. 我国荒漠不同生态类型植物的旱生结构[J]. 植物生态学与干旱地植物丛刊, 1982, 6(4): 314 - 319.]
- [9] Cai Lianbing. A research on the intrgression from *Aegilops* L. to *Triticum* L. based on leaf epidermal characters I. Paths between the sections [J]. Acta Botanica Boreali - occidentalia Sinica, 1995, 15(1): 41 - 47. [蔡联炳. 根据叶表皮微形态特征探讨山羊草属在小麦属中的应用[J]. 西北植物学报(自然科学版), 1995, 15(1): 41 - 47.]
- [10] Wang Weiyl. The characteristic study on alpine plant [J]. Collection Journal of High Biology, 1984, 4: 19. [王为义. 高山植物特性研究[J]. 高原生物集刊, 1984, 4: 19.]
- [11] Zhou Guangtai. Anatomical study on alpine plant in Qinghai [J]. Journal of Qinghai Normal Uni., 1992, (4): 10. [周广泰. 青海高山植物解剖学研究[J]. 青海师范大学学报(自然科学版), 1992, (4): 10.]
- [12] Yuan Yongming, Peng Zexiang. Pollen morphology and its systematic significance of the Tribe *Thermopsidae* (*Leguminosae*) from China [J]. Journal of Lanzhou University. 1991, 27(3): 84 - 95. [袁永明, 彭泽祥. 中国豆科黄华族植物花形态及其分类学意义[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1991, 27(3): 84 - 95.]
- [13] He Jinsheng, Wang Xunlin. Morphological and anatomical features of *Quercus* Section SUBER and its adaptation to the ecological environment [J]. Acta Phytoecologica Sinica. 1994, 18(3): 219 - 227. [贺金生, 王勋陵. 高山栎叶的形态结构及其与生态环境的关系[J]. 植物生态学报, 1994, 18(3): 219 - 227.]
- [14] Ma Ji, Wang Xunlin. The species and distribution of genus *Peganum* L. in the desert area of China [J]. Journal of Desert Research, 1998, 18(2): 131 - 136. [马骥, 王勋陵. 中国荒漠地区骆驼蓬属植物种类与分布[J]. 中国沙漠, 1998, 18(2): 131 - 136.]
- [15] Huang Zhenying, Wu Hong. The structures of 30 species of psammophytes and their adaptation to the sandy desert environment in

- Xin Jiang[J]. Acta Phytoecologica Sinica. 1997, 21(6): 521 - 530. [黄振英, 吴鸿. 30 种新疆沙生植物的结构及其对沙漠环境的适应[J]. 植物生态学报, 1997, 21(6): 521 - 530.]
- [16] Dai Dalin, Zhang Qingmin. The Sample Preparation Methods of Electron Microscope in Biomedicine[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 1993. 220 - 229. [戴大临, 张清敏. 生物医学电镜样品制备方法[M]. 天津: 天津大学出版社, 1993. 220 - 229.]
- [17] Esau K. Translated by Li Zhengli. Anatomy of Spermatophyte (The Second Edition) [M]. Higher Education Press, 1982. 64. [Esau K (李正理译). 种子植物解剖学(第二版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1982. 64.]
- [18] Zhu Hu. Study on relation of leave anatomical structure with anti-drought of Chinese gooseberry [A]. Collection of Thesis in 60th Annual Meeting of Botanical Society of China [C]. Beijing: Science Press, 1993. 243 - 244. [朱弧. 几种猕猴桃叶片解剖结构与抗旱性关系的研究 [A]. 中国植物学会 60 周年年会学术论文汇编[C]. 北京: 科学出版社, 1993. 243 - 244.]
- [19] Qiu Ruhui, Li Youzhong, Fan Jianping. The idioblasts and their ecological significance in leaves of 16 alpine plants[J]. Acta Botanica Boreali - occidentalia Sinica, 1998, 18(2): 270 - 276. [邱如虎, 李有忠, 范建平. 16 种高山植物叶片内的异细胞及其生态学意义[J], 西北植物学报, 1998, 18(2): 270 - 276.]
- [20] Wang Yaozhi, Wang Xunlin, Li Wei. Observation on structure of leaves of common plant in steppe desert[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 1983, 19(3): 87 - 96. [王耀芝, 王勋陵, 李蔚. 荒漠化草原常见植物叶内部结构的观察[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1983, 19(3): 87 - 96.]
- [21] Wang Xunling, Wang Jing. Plant Structure and Environment [M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1989. 144 - 145. [王勋陵, 王静. 植物形态结构与环境 [M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1989. 144 - 145.]
- [22] Zhou Guangming, Wang Zhibing, Du Qing. Vegetation in Qinghai [M]. Xining: Qinghai People's Publishing House, 1987. 4 - 20. [周光民, 王质彬, 杜庆. 青海植被[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1987. 4 - 20.]
- [23] Ma Yonggui, Zhou Youshou. Adaptability analysis of the structure on stalks and leaves of five plant species in the Animaqing Mountains[J]. Journal of Qinghai Normal University, 2001, (4): 53 - 57. [马永贵, 周有寿. 阿尼玛卿山五种植物茎叶结构适应性分析[J]. 青海师范大学学报(自然科学版), 2001, (4): 53 - 57.]
- [24] Karter E G. Plant Anatomy [M]. Science Press, 1973. [E. G 卡特 (李正理译). 植物解剖学[M]. 北京: 科学出版社, 1973.]
- [25] Hu Shiyi. Botany [M]. Beijing: Higher Education Press, 1959. [胡适宜. 植物学(形态学及解剖学分部) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1959.]
- [26] Fan Jianping, Wu Xueming, Li Youzhou. A study on the anatomical characteristics of leaf laminae of five species of *edulis* growing in Qinghai Plateau [J]. Journal of Qinghai Normal University, 1995, (2): 50 - 53. [范建平, 吴学明, 李有忠. 青海五种柳属植物叶片的解剖特征的研究 [J]. 青海师范大学学报(自然科学版), 1995, (2): 50 - 53.]
- [27] Zhou Guangtai. Study on anatomic charts of alpine plant in Qinghai [A]. Collection of Thesis in 60th Annual Meeting of Botanical Society of China [C]. Beijing: China Science and Technology Press, 1993. 240. [周广泰. 青海高山植物解剖特点的研究[A]. 中国植物学会 60 周年年会(1933~1993)学术报告及论文摘要汇编[C]. 北京: 中国科技出版社, 1993. 240.]
- [28] Nobel P S, In N C. Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress [M]. New York: John Wiley & Sons, 1982. 140 - 145.
- [29] Li Zhengli, Zhang Xinying. Plant Anatomy [M]. Beijing: Higher Education Press, 1983. 261 - 262. [李正理, 张新英. 植物解剖学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1983. 261 - 262.]

Comparative Study of the Characteristics of Leaf Morphological Structure of *Leontopodium leontopodioides* (Compositae) for Three Elevations at the Source Area of the Ürümqi River

AN Lǐ-zhe^{1, 2}, DAI Yǐ-ling², CHEN Tuó¹, XU Shì-jian^{1, 2},
ZHANG Mǎn-xiao¹, LIU Yǎn-hong², CHENG Guó-dong¹

(1. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, CAREERI, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China; 2. Key Laboratory of Arid and Pastoral Agroecology of Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou Gansu 73000, China)

Abstract: The main anatomical and surface characteristics of leaves of *Leontopodium leontopodioides* (Willd.) Beauv. from three habitats of 4 000 m, 3 400 m and 2 500 m a. s. l. in the source area of the Ürümqi River were analyzed and compared by means of light and scanning electron microscope using a new embedding method with PEG and Epon-812. The results indicated that *Leontopodium leontopodioides* at the source area of the Ürümqi River is the mesophytes with part leaf structural characteristics of xerophytes and hydrophytes. Above the habitat of 4 000 m a. s. l., the surface of cuticle of the leaf epidermis wall of *Leontopodium leontopodioides* agrees with granular wax. The other two habitats not agree

with granular wax. Many characteristics are distinctly different for different habitats, such as the thickness of leaf, epidermis shape and the pattern of anticlinal wall, and the distribution characteristics of stomatal apparatus, stomatal size, stomatal density, formation of vascular bundle, CTR, chloroplast content of mesophyll tissue and the cuticular thickness degree of polar "T" shape of guard cells. However, fewer characteristics of the hair-shaped appendant organ and the plane station type of stomata change on the epidermis. It is revealed that the diversity of individual morphology and the combination of characteristics of the leaf morphological structure are correlated with habitats.

Key words: *Leontopodium leontopodioides*; leaf; morphological structure; habitat; altitude