

旱生植物刺山柑不同种群茎叶的解剖学研究

刘 静¹, 赵红艳², 马 森^{1*}

(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: 刺山柑常分布于极端干旱的戈壁与砾石山坡, 然而其适应干旱环境的解剖学机理却未见报道。对分布于新疆石河子、新疆库尔勒以及西藏札达的3个刺山柑种群茎、叶材料进行了比较解剖学研究。结果表明: 不同种群材料均具有适应旱生环境的典型结构特征: 茎表皮有表皮毛和发达的角质层, 皮层较厚, 维管组织发达, 髓明显; 叶为双栅型等面叶, 上、下表皮均有气孔分布, 气孔密集, 但以下表皮气孔数目为多, 角质层、栅栏组织、输导组织十分发达。随着生境干旱程度的加剧, 其茎、叶的旱生结构特征也愈加显著。由于库尔勒的刺山柑种群分布于干旱石质山坡的阳坡, 年降水量只有50 mm, 而夏季岩石表面温度却高达80℃。因此, 该种群植株的茎、叶比其它种群具有更为显著的旱生结构。

关键词: 刺山柑; 解剖结构; 适应; 新疆; 西藏

中图分类号: Q944.53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2011)06-0735-06

Anatomy of stem and leaf in different populations of *Capparis spinosa* in China

LIU Jing¹, ZHAO Hong-Yan², MA Miao^{1*}

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

Abstract: *Capparis spinosa* often lives on extremely arid Gobi desert or arid stony mountain, but there were few works about the relationship between its anatomical structure and its adaptation to arid living condition. In this paper, anatomical structures of stem and leaf of the cappers in different populations (Shihezi, Korla in Xinjiang, and Zhadu in Tibet) were studied. The results showed that the anatomical structure was highly adapted to its arid environment: there were epidermal hairs and obvious cuticle on the epidermis of stems, and also developed cortex, pith and vascular tissue in stems. The leaf was isobilateral with double palisade tissue. Dense stomata existed on both upper and lower epidermis, there were significant cuticle, palisade tissue and conducting tissue in leaf. Its characteristics of xerophil were more obvious as available water condition in soil became worse in natural habitats. *C. spinosa* in Korla population was of much significant xeromorphic traits than that in other populations because of its severe arid habitat.

Key words: *Capparis spinosa*; anatomical structure; adaptation; Xinjiang; Tibet

刺山柑(*Capparis spinosa*), 又称老鼠瓜、野西瓜、糙果藤等, 属白花菜科植物。在我国主要集中分布于新疆极端干旱的戈壁、沙地和石质山坡地带, 尤其以吐鲁番、库尔勒、喀什等地的荒漠中较为常见,

在西藏也有少量分布(新疆植物志, 1995; 孙勤河和马森, 2010)。新疆的刺山柑每年入夏后(5月中旬)才开始萌发新枝, 10月底地上部分枯死, 生活史的绝大部分时期都在面临干旱、炎热的生存环境, 夏季

收稿日期: 2011-01-23 修回日期: 2011-08-15

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: 刘静(1987-), 女, 新疆乌鲁木齐人, 硕士研究生, 从事植物学研究, (Email)liujing0710@126.com。

* 通讯作者: 马森, 男, 博士, 教授, 主要从事植物生态学等研究, (E-mail)miaom@shzu.edu.cn。

正午时分生境地面温度可达 80℃, 然而植株高度通常为 15 cm 左右, 平卧于地面的枝条呈贴地生长状。因此, 其不仅要忍耐干旱缺水的土壤环境和强烈的太阳辐射, 而且还要面对来自地面的高温灼热(张立运等, 2004)。刺山柑植株冠幅直径可达 3 m, 枝叶茂密但不肉质化, 叶色浓绿, 叶片大而光滑无毛, 与普通旱生植物叶片小型、叶片退化、茎叶肉质、植株被毛等形态特征之间均存在显著不同。然而, 有关其耐旱机理的研究却鲜有报道。

形态结构是功能的基础, 植物的结构特征最能体现植物对环境的适应(Fahmy, 1997), 运用解剖学方法, 研究特定生境下植物营养器官的解剖结构及其变化规律已成为生态学研究的一个重要方面, 了解植物形态解剖结构可探究其对环境变化的响应与适应。本文通过石蜡切片法对新疆刺山柑不同种群的茎、叶解剖结构进行对比研究, 揭示其适应干旱环境的结构机制, 为研究刺山柑的生态适应性提供科学依据。

1 材料与方法

本研究所用的刺山柑材料分别采自新疆石河子的丘陵坡地(海拔 450 m)、新疆库尔勒的干旱石质山坡(海拔 1 100 m)、以及西藏札达的高山荒漠草原(海拔 4 000 m)。选取健康植株的茎、叶, 茎的直径为 0.4~0.6 cm, 叶为植株中部的成熟叶片, 切成 0.5 cm 长的片段, 用 FAA 溶液固定, 按常规石蜡切片法制片, 切片厚度为 12 μm , 番红—固绿双重染色。Olympus 研究显微镜观察, DP70 显微摄像系统照相。

在 100 倍镜下随机观察 10 个视野用 Report 软件统计和测量表皮厚度、皮层厚度、髓半径和导管口径、叶片厚度、栅栏组织厚度以及气孔密度(1 mm 长度叶片上的气孔数目)等各部分数据, 每项指标重复测定 10 次, 取平均值。

2 观察结果

2.1 不同种群刺山柑茎的解剖结构比较

茎的横切面近圆形, 都由表皮、皮层、维管柱三部分组成(图版 I: 1-8)。

2.1.1 表皮 表皮由一层紧密排列的细胞组成。表皮外皆被有角质层, 有少量表皮毛和气孔。

2.1.2 皮层 皮层发达, 由厚角组织和皮层薄壁组织组成。厚角组织细胞体积较小, 层数为 3~6 层, 细胞近圆形, 皮层薄壁组织细胞较大, 呈椭圆形紧密排列。但不同种群的皮层细胞层数与皮层厚度有显著差异, 石河子种群的皮层层数最少(12 层), 皮层最薄(718 μm), 库尔勒种群的皮层层数最多(17 层), 皮层最厚(1 140 μm)(表 1)。

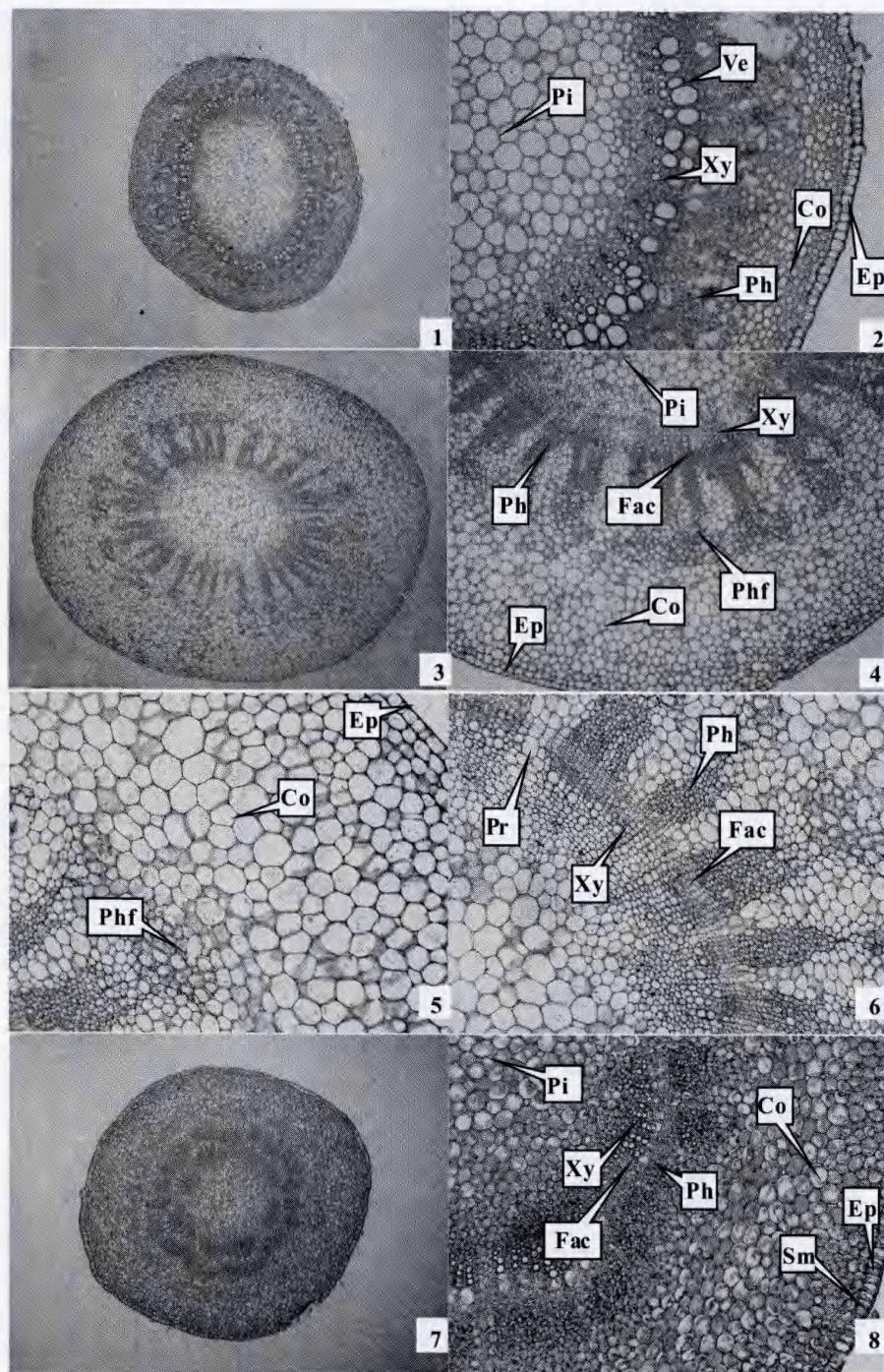
2.1.3 维管柱 维管柱都由维管束、髓和髓射线三部分组成。维管束数量众多, 排列十分紧密, 相邻维管束之间是由 2~3 列薄壁细胞组成的髓射线。维管束外侧为韧皮部, 内侧为木质部, 中间为束中形成层。木质部与韧皮部都很发达, 大量韧皮纤维, 纤维成束分布, 在横切面上形成一条不连续的同心环带。但库尔勒种群中茎韧皮部最厚, 韧皮纤维最发达。不同种群刺山柑的茎木质部中导管数目不同、导管口径大小不一。石河子种群茎导管口径最大, 达 83.3 μm , 库尔勒与札达种群茎导管口径较小, 分别为 44.1 μm 和 30.1 μm (表 1)。髓位于茎的中央, 都由一些大型薄壁细胞紧密排列组成, 但不同种群茎中髓所占的比例不同。石河子种群茎的髓部面积最大, 其在横截面所占比例达 27.53%。札达种群茎的髓部面积最小, 在横截面所占比例则只有 10.90%。

2.2 不同种群刺山柑叶的解剖结构比较

因其海绵组织极度退化, 3 个种群的叶片皆为等面叶。横切面由表皮、叶肉和叶脉三部分组成(图版 II: 1-6)。但叶片厚度不同。库尔勒种群叶最厚, 达 1 910.7 μm , 石河子种群叶相对较薄, 为 1 363.9 μm (表 2)。

2.2.1 表皮 横切面上, 表皮外被有少量角质层和腺毛, 札达种群叶角质层较其他种群明显增厚。上、下表皮细胞各一层, 表皮细胞圆形或椭圆形, 排列紧密, 上表皮细胞较小, 下表皮细胞较大, 上、下表皮均有气孔分布, 且气孔下陷形成孔下室。上表皮气孔密度每个为 10~12 mm, 下表皮气孔密度每个为 8~14 mm, 其中札达种群叶的气孔个数也明显比其他种群多。叶片上表皮气孔密度均低于下表皮(表 2)。

2.2.2 叶肉 刺山柑叶肉组织发达, 为两面都具栅栏组织的等面双栅型叶。近上表皮栅栏组织比近下表皮栅栏组织发达, 由 2~3 层长圆柱状细胞排列呈栅栏状, 细胞较长、排列紧密而整齐, 染色较深, 含丰富的叶绿体。靠近下表皮栅栏组织厚度相对较低, 由 2~3 层短圆柱状细胞组成。札达种群叶栅栏组织最发达(表 2)。



图版 I 不同种群刺山柑茎的解剖结构 Co. 皮层; Cu. 角质层; Ep. 表皮; Fac. 束中形成层; Ph. 韧皮部; Phf. 韧皮纤维; Pi. 髓; Pr. 髓射线; Sm. 气孔; Ve. 导管; Xy. 木质部。1, 2. 石河子种群茎的横切面, 示表皮, 皮层, 木质部, 韧皮部; 3, 4, 5, 6. 库尔勒种群茎的横切面, 示表皮, 皮层, 木质部, 韧皮部, 韧皮纤维, 束中形成层, 髓射线; 7, 8. 札达种群茎的横切面, 示表皮, 木质部, 韧皮部, 束中形成层; 1, 3, 7. $\times 40$; 4. $\times 100$; 2, 5, 6, 8. $\times 200$ 。

Plate I Anatomy of stems in different populations of *Capparis spinosa* Co. cortex; Cu. cuticle; Ep. epidermis; Fac. fascicular cambium; Ph. phloem; Phf. phloem fiber; Pi. pith; Pr. Pith ray; Sm. stoma; Ve. vessel; Xy. xylem. 1, 2. Transverse section of stem in Shihezi, showing epidermis, cortex, xylem and phloem; 3, 4, 5, 6. Transverse section of stem in Korla, showing epidermis, cortex, xylem, phloem, phloem fiber, fascicular cambium and pith ray; 7, 8. Transverse section of stem in Zhada, showing epidermis, cortex, xylem, phloem, fascicular cambium. 1, 3, 7. $\times 40$; 4. $\times 100$; 2, 5, 6, 8. $\times 200$.

表 1 不同种群刺山柑茎解剖结构比较

Table 1 Comparison of stem anatomy structure of *Capparis spinosa* among 3 populations

参数 Parameters	种群 Populations		
	新疆石河子 Shihezi in Xinjiang	新疆库尔勒 Korla in Xinjiang	西藏札达 Zhada in Tibet
皮层厚度(μm)	718.1	1140.1	965.6
皮层层数(层)	12	16~17	15~16
皮层在横截面所占比例(%)	17.25	29.99	41.76
髓在横截面所占比例(%)	27.53	12.25	10.90
导管列数(列)	4~5	5~7	3~5
导管口径(μm)	83.3	44.1	30.1

2.2.3 叶脉 刺山柑叶片的叶脉非常发达,为网状叶脉,主脉较粗,而两侧的叶脉维管束较小。库尔勒种群叶主脉最明显,维管束最发达,其半径最大,达 $380.58 \mu\text{m}$ 。在主脉与上表皮之间有 5~6 层厚角组织,排列紧密、整齐。主脉中维管束的木质部在上方,韧皮部在下方。木质部发达,在横切面上 6~8 列导管整齐地径向排列。在主脉维管束与下表皮之间,为 10~12 层薄壁细胞组成的基本组织。

不同种群刺山柑叶的表皮、栅栏组织、海绵组织及叶脉的比较见表 2。

3 讨论

3.1 茎叶结构对环境的适应

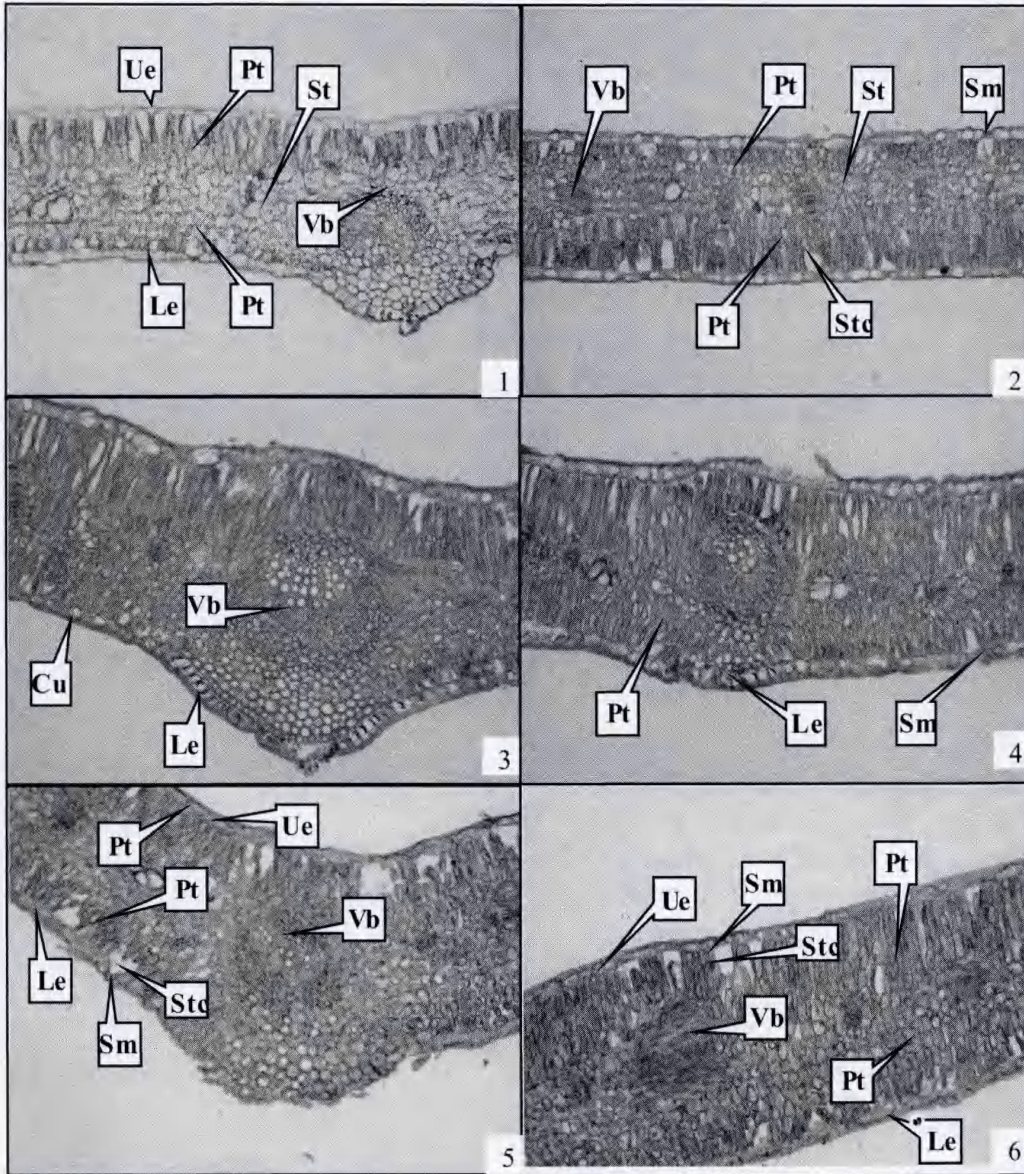
植物的营养器官特别是暴露在空气中的茎和叶,其组织结构对环境条件的反应较为敏感,以其内部特殊的结构与功能,不断适应着外界的不良条件(Yiotis & Psaras, 2006)。刺山柑茎和叶的形态结构表现出许多适应干旱环境的特点。

3.1.1 茎结构对环境的适应 本文所涉及的刺山柑不同种群茎表皮皆具有表皮毛、厚角质层,表皮细胞排列紧密,有气孔分布,这是对于干旱环境的一种适应性特征(Sayed, 1996; 王玉良等, 2009)。茎中发达的韧皮纤维以其较大的韧性与拉力,有助于抵御生长环境中的强大风力影响。3 个种群的刺山柑茎均具有较厚的皮层,尤其是库尔勒种群茎的皮层面积占茎横截面的比例超过了 $1/3$,不仅可贮藏大量水分,而且可缓冲外界温度的变化,防止体内水分过度蒸腾,与初生韧皮纤维一起,有效地保护内部维管组织(Yiotis & Psaras, 2006),作为机械组织的皮层厚角组织与韧皮纤维则能在逆境中保护植物避免遭受物理损伤和因失水萎蔫而造成的不良影响。

刺山柑茎中发达的维管组织,具有较强的输导和机械支持作用,在供水充足时可高效输导水分和养料,供叶子大量蒸腾和高效光合,并产生大量有机物,进行快速生长和繁殖后代(初敬华等, 2001)。高的皮层/维管柱比例以及排列紧密的维管束则是对干旱环境的一种有效适应,特别是在木栓层形成以前,厚的皮层可能与保护维管组织免受干旱有关(Galmés & Medrano, 2007)。髓在刺山柑茎中占有较大比例,表明其贮藏能力强,可为其渡过不良环境贮存充足的水分和养分,以维持植物生理机能的正常实现。

3.1.2 叶结构对环境的适应 叶是植物进行同化作用、蒸腾作用 and 与外界进行气体交换的主要器官,与周围环境有着密切的联系,因而植物叶的形态和构造能较好地反映其对环境的适应(胡兴华等, 2010; 张兴旺等, 2007)。刺山柑的叶表皮都被有不同厚度的角质层,可防止叶内水分过度蒸腾,又可反射强光,避免叶肉组织受损(唐为萍等, 2005),是其对于干旱环境的一种适应对策(Bargel & Barthlott, 2004; Yiotis & Psaras, 2006)。对于大多数叶片来说,由于上表皮接受阳光照射比较多,水分比较容易从上表皮的气孔逸出,如果上表皮气孔多于下表皮,水分散失较快,这对于植物的生长是不利的。而刺山柑叶片上、下表皮均有气孔分布,但下表皮的气孔比上表皮多。这种结构特点既可促进植物与外界的气体交换,又能保持水分,是抵御干旱和适应环境的机制之一(Anyia & Herzog, 2004; 唐为萍等, 2005)。库尔勒种群叶主脉的厚角组织比较发达,则能够在逆境中抵御因物理损伤和因失水萎蔫而对植物造成的不良影响。

刺山柑叶栅栏组织异常发达,海绵组织相对减少,细胞间隙小。这些都是植物对水分短缺和光照强烈的结构适应,该特征有助于 CO_2 等气体从气孔下室到光合作用场所的传导,又可抵消因气孔关闭和叶肉结构的变化所引起的 CO_2 传导率的降低,从而提高植物对水分的利用率,表现出刺山柑的抗旱适应性。叶近上、下表皮处皆有 2~3 层栅栏组织细胞,细胞排列紧密,含较多叶绿体。致密而多层的栅栏组织意味着较高的“栅/表比”,这一特征被认为不仅有助于植物抵御由于强烈日光的照射对叶肉的灼伤,而且还有助于提高叶片的光合效率(Yiotis & Psaras, 2006)。栅栏薄壁组织紧密度及厚度与植物抗旱性有最密切的正相关关系(张振师等, 2004)。发达的网状叶脉和较大的维管束,可有效增强刺山



图版 II 不同种群刺山柑叶的解剖结构 Cu. 角质层; Le. 下表皮; Pt. 栅栏组织; St. 海绵组织; Stc. 孔下室; Sm. 气孔; Ue. 上表皮; Vb. 维管束; Ve. 导管。1,2. 石河子种群叶的横切面, 示上表皮, 下表皮, 气孔, 栅栏组织, 海绵组织, 维管束; 3,4. 库尔勒种群叶的横切面, 示上表皮, 下表皮, 气孔, 栅栏组织, 角质层, 维管束; 5,6. 扎达种群叶的横切面示上表皮, 下表皮, 气孔, 栅栏组织, 角质层, 维管束; (1-6. $\times 200$)。

Plate II Anatomy of leaves in different populations of *Capparis spinosa* Cu. cuticle; Le. lower epidermis; Pt. palisade tissue; St. spongy tissue; Stc. stomatic chamber; Sm. stoma; Ue. upper epidermis; Vb. vascular bundle; Ve. vessel; (1-6. $\times 200$). 1,2. Transverse section of leaf in Shihezi, showing upper epidermis, lower epidermis, stoma, palisade tissue, spongy tissue, vascular bundle; 3,4. Transverse section of leaf in Korla, showing upper epidermis, lower epidermis, stoma, palisade tissue, cuticle, vascular bundle; 5,6. Transverse section of leaf in Zhada, showing upper epidermis, lower epidermis, stoma, palisade tissue, cuticle, vascular bundle.

柑叶片从叶脉基部向叶肉细胞的水分传输, 是其适应干旱环境的有效手段。尤其库尔勒种群的叶, 主脉非常发达, 木质部导管很明显, 提高了水分的输导效率, 使其更好的适应干旱环境(唐为萍等, 2005)。

3.2 不同种群刺山柑对环境适应能力的比较

从表 1, 表 2 可以看出, 不同种群的刺山柑茎叶

旱生特征都比较明显, 库尔勒种群生境为海拔 1100 m 的干旱石质山坡的阳坡, 是山坡上唯一的植被种类, 植株根系生活在岩石缝隙中, 茎、叶匍匐状平卧于岩石上, 夏季大气温度可达 40 $^{\circ}\text{C}$, 岩石表面温度常高达 80 $^{\circ}\text{C}$ 。刺山柑茎叶不仅要承受上部的太阳强光辐射、紫外线胁迫, 还要忍耐来自下方岩石的高

温反射以及干旱缺水的生存环境,年降水量不足 50 mm。因此,其茎、叶的旱生结构最为显著。与其他种群相比,石河子种群的茎皮层相对较薄,在茎横切面中所占比例较小,叶片较薄,栅栏组织较薄,维管

表 2 不同种群刺山柑叶的解剖结构比较

Table 2 Comparison in leaf anatomy structure of *Capparis spinosa* among 3 populations

参数 Parameters	种群 Populations		
	新疆石河子 Shihezi in Xinjiang	新疆库尔勒 Korla in Xinjiang	西藏札达 Zhada in Tibet
叶片厚度(μm)	818.34	1146.42	1087.14
上表皮厚度(μm)	60.18	93.36	65.58
下表皮厚度(μm)	71.28	95.58	66.18
主脉处厚度(μm)	1094.82	1643.22	1393.26
主脉维管束半径(μm)	191.1	380.58	277.2
近上表皮栅栏组织厚度(μm)	275.22	348.78	355.92
近下表皮栅栏组织厚度(μm)	219.84	259.5	326.52
每毫米上表皮气孔数(个)	8	8	12
每毫米下表皮气孔数(个)	12	10~12	14
木质部在维管束所占比例(%)	14.40	27.90	34.80

束较细,木质部在维管束中所占比例较小。这是由于其生长在海拔 450 m 的丘陵坡地,年降水量约为 200 mm,加之与河流比邻,故土壤水分条件较好,紫外线强度和地面温度都较低的缘故。所以虽为旱生植物,但其旱生结构却没有库尔勒种群显著。札达种群地处青藏高原海拔 4 000 m 高山干旱草原,年降水量相对较高,故其皮层所占比例较小。但由于高原环境无霜期较短,刺山柑的年生活周期较平原地区短暂,生长发育更加迅速,因此叶中发达的栅栏组织和输导组织是与植株快速生长发育习性相吻合的。高光强与强烈的紫外辐照是高原地区典型的生态特征,发达的角质层有助于抵御强光对植物内部组织的损伤(Parida & Das, 2004)。

参考文献:

- 新疆植物志编辑委员会. 1995. 新疆植物志(第 2 卷 第 2 分册) [M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社
- Anyia AO, Herzog H. 2004. Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought[J]. *Eur J Agron*, **20**:327-339
- Bargel H, Barthlott W. 2004. Plant cuticles: Multifunctional interfaces between plant and environment[J]. *Evol Plant Physi-*

ol, 171-194

- Chu JH(初敬华), Gao CG(高晨光). 2001. A research of dissected structure of the stems and leaves of 4 types of xerophyte in western Jilin Province(吉林省西部四种旱生植物茎和叶解剖构造的研究)[J]. *J Tianjin Norm Univ*(天津师范大学学报), **21**(1):58-60
- Fahmy GM. 1997. Leaf anatomy and its relation to the ecophysiology of some non-succulent desert plants from Egypt[J]. *J Arid Environ*, **36**(3):499-526
- Galmés J, Medrano H. 2007. Photosynthesis and photoinhibition in response to drought in a pubescent(var. *minor*) and a glabrous(var. *palaui*) variety of *Digitalis minor*[J]. *Environ Exp Bot*, **60**(1):105-111
- 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
- Parida AK, Das AB. 2004. Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove[J]. *Brug Parv Trees*, **18**:167-174
- Sayed OH. 1996. Adaptational responses of *Zygophyllum qatarense* Hadidi to stress conditions in a desert environment[J]. *J Arid Environ*, **32**(4):445-452
- Sun QH(孙勤河), Ma M(马森). 2010. Effects of sulphuric acid and Gibberellins on seed germination of *Capparis spinosa* seeds(浓 H₂SO₄ 和 GA₃ 对刺山柑种子萌发的影响)[J]. *J Shihezi Univ*(石河子大学学报), **28**(2):144-146
- 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
- Wang YL(王玉良), Zheng YH(郑玉华) 2009. Comparative anatomy study on vegetative organs of *Plantago major* and *P. depressa*(大车前与平车前营养器官的比较解剖学研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **29**(5):603-606
- Yiotis CM, Psaras GK. 2006. Leaf and green stem anatomy of the drought deciduous Mediterranean shrub *Calicotome villosa* (Poir.) Link. (Leguminosae)[J]. *Flora-Morphol Distr Funct Ecol Plants*, **201**(2):102-107
- Zhang LY(张立运), Yang C(杨春). 2004. Conservation of *Capparis spinosa* in wind erosion area(保护风蚀地的刺山柑)[J]. *Plants*(植物杂志), **34**(1):3-4
- Zhang ZS(张振师), Xue ZD(薛智德), Cui HA(崔宏安), et al. 2004. Anatomical study of xeromorphism of the leaves in cuttings of three brushes in Yan'an region(延安地区 3 种灌木叶旱性结构的解剖研究)[J]. *J Northwest Fore Univ*(西北林学院学报), **19**(1):32-35