

# 浑善达克沙地不同生境下黄柳叶片解剖结构的比较

崔秀萍, 刘果厚\*, 张瑞麟

(内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010019)

**摘要:**选取叶厚度、表皮细胞的大小、栅栏组织细胞的大小、第一层栅栏组织的细胞密集度、表皮细胞外壁与角质层的厚度、主脉厚度等抗旱指标,对生长在不同生境条件下的黄柳及丘间低地小红柳的叶片进行了解剖学研究,以期从叶的解剖结构上寻求其与抗逆性的关系。结果表明,分布在不同生境的黄柳叶片与丘间低地的小红柳相比都较厚,叶肉全栅化,为等面叶,上、下表皮细胞外壁加厚且均具角质层。综合方差分析和 LSD 多重比较,抗旱性大小顺序依次是:流动沙丘的黄柳 > 半固定沙丘的黄柳 > 固定沙丘的黄柳 > 丘间低地小红柳。

**关键词:**黄柳;小红柳;不同生境;叶片;解剖结构;抗旱性

文章编号:1000-0933(2006)06-1842-06 中图分类号:Q944.5 文献标识码:A

## Comparison of leaf anatomical structure between *Salix gordejvii* growing under contrasting habitats of Otingdag Sandland and *Salix microstachya* var. *bordensis* growing on the lowlands of dunes

CUI Xiu-Ping, LIU Guo-Hou\*, ZHANG Rui-Lin (College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1842 ~ 1847.

**Abstract:** In order to determine the relationships between the leaf anatomical structures and drought resistance, some important attributes of leaf anatomical structure, were compared between *Salix gordejvii* growing on different sand dunes and *Salix microstachya* var. *bordensis* growing on the lowlands between dunes. The attributes compared were: thickness of leaf, size of epidermal cell, size of palisade tissue cell, cell density of the first layer of palisade tissue, thickness of epidermal cell wall and cuticle, and thickness of midrib of the plants. Analysis of variance showed that these important attributes were significantly different ( $\alpha < 0.05$ ) between the two plants. In comparison with the leaves of *Salix microstachya* var. *bordensis*, the leaves of *Salix gordejvii*, under all the observed habitats, were thicker with total-palisade type, identical face leaf and thicken epidermis cell wall with cuticle. The results also showed that the sequence of drought resistance is in the order of *Salix gordejvii* on the drifting sand dune, *Salix gordejvii* on the semi-fixed sand dune, *Salix gordejvii* on the fixed sand dune and *Salix microstachya* var. *bordensis*.

**Key words:** *Salix gordejvii*; *Salix microstachya* var. *bordensis*; different environments; leaf; anatomical structure; drought resistance

干旱、半干旱地区的植物长期处于大气干旱的影响下,在形态结构、解剖构造和生理功能上均发生着一系列适应性变化,构成植物的抗旱性<sup>[1]</sup>。叶是植物进行同化作用与蒸腾作用的主要器官,与周围环境有着密切联系,旱生植物叶片结构与其生境有着极显著的相关性<sup>[2]</sup>,因而植物对环境的反映也较多的反映在叶的形态

基金项目:中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-08-02)

收稿日期:2005-02-02;修订日期:2005-10-21

作者简介:崔秀萍(1978~),女,宁夏盐池人,博士生,主要从事沙区植物资源保护与利用研究。

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guohouliu@163.com

Foundation item: The project was supported by CAS grants of China (No. KSCX1-08-02)

Received date: 2005-02-02; Accepted date: 2005-10-21

Biography: CUI Xiu-Ping, Ph. D. candidate, mainly engaged in the protection and exploitation of vegetation in sand land.

和构造上<sup>[3,4]</sup>。

黄柳(*Salix gordejewii* Y. L. Chang et Skv.)是杨柳科柳属的一种旱中生灌木,是浑善达克沙地流动、半流动沙丘的主要固沙先锋植物。具有耐干旱、抗风蚀、耐沙埋的特点,受流沙掩埋后易生不定根,并形成新的枝条,是流动、半流动沙丘的建群种和优势种,甚至形成纯群落。随着沙丘的固定和其它植物的入侵定居,其优势地位被逐渐代替,生长逐渐减弱。小红柳(*Salix microstachya* Turcz. apud Trautv. var. *bordensis* (Nakai) C. F. Fang)是黄柳的主要伴生树种之一,常常分布在水分条件较好的丘间低地和低湿地<sup>[5]</sup>。

黄柳的生态幅较广,适应性很强,在浑善达克沙地广泛分布,但由于小生境的不同,其在形态结构上亦表现出有差异。以往,对沙生植物叶片解剖结构特点方面的报道已不少,但对同一种植物在不同生境中叶片结构变异规律的报道不多。因此,本文对分布在不同生境的黄柳及丘间低地小红柳的叶片进行了解剖观察,试图从叶的解剖结构上寻求其与抗逆性的关系,反映黄柳对生态环境适应的特点,从而为黄柳生态适应性的研究奠定基础,为京津风沙源治理筛选优良的种植材料,并为该种植物在我国干旱、半干旱沙区的推广种植提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

采样地位于锡林郭勒盟正蓝旗的桑根达来镇(42°41' ~ 42°43'N, 115°57' ~ 115°59'E)。根据内蒙古正蓝旗气象局提供的气象资料,该地年平均温度 1.6℃,极端最低温度 -40℃,极端最高温度 35℃。≥10℃年积温为 2000℃,年降雨量 367.1mm,多西风和西北风。由于种种原因,浑善达克沙地沙化日趋严重,植被稀疏。乔木主要有浑善达克沙地榆(*Ulmus pumila* var. *sabulosa*),灌木主要有黄柳(*Salix gordejewii*)、小红柳(*Salix microstachya* var. *bordensis*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、羊柴(*Hedysarum laeve*)等;草本植物主要有星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、寸草苔(*Carex duriuscula*)、冰草(*Agropyron cristatum*)等<sup>[6]</sup>。

### 1.2 切片制作与观察

材料取植株向阳面中部完全成熟、无病虫害的叶,样品为 0.5 ~ 1cm。采样后立即用 FAA 固定。采用常规石蜡切片法,切片厚度为 10μm,番红一固绿双重染色,中性树胶封片,制成永久制片<sup>[7]</sup>。在显微镜下观察、测量并进行显微照相。所得数据为不同制片上 10 个视野的平均值,所测数据用 SAS(统计分析系统)软件进行方差分析和 LSD(最小显著差数法)多重比较<sup>[8]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 叶的解剖结构特征

分布在不同生境的黄柳及丘间低地小红柳的叶片解剖结构特征值见表 1。

**2.1.1 不同生境黄柳叶片解剖结构的共同特征** 从叶的横切面看,黄柳叶片厚。上、下表皮各由一层细胞组成,细胞排列紧密,呈矩圆形或矩形。上、下表皮细胞外壁加厚且角质层较厚。上、下表皮均分布有气孔。叶肉近全栅化,为等面叶。上表皮下栅栏组织细胞较大,下表皮上栅栏组织细胞较小,两部分之间细胞排列较为疏松。主脉向下突起,半圆形。主脉中有两个维管束,均为外韧维管束,其中一个维管束靠近下表皮,且较大;另外一个维管束靠近上表皮,相对较小,其韧皮部靠近上表皮(见图 1.1 ~ 图 1.6)。

**2.1.2 不同生境黄柳叶片解剖结构的区别** 从叶的横切面看,流动沙丘的黄柳叶片气孔器的保卫细胞与表皮细胞在同一平面或稍下陷,半固定沙丘、固定沙丘的黄柳叶片气孔器的保卫细胞与表皮细胞在同一平面;流动沙丘、半固定沙丘的黄柳叶片上表皮细胞稍大于下表皮细胞,固定沙丘的黄柳叶片上、下表皮细胞大小接近(见图 1.1 ~ 图 1.6)。

**2.1.3 丘间低地的小红柳叶片的解剖结构特征** 从叶的横切面看,小红柳叶片相对于黄柳叶片较薄。上、下表皮各由一层细胞组成,细胞排列紧密,呈矩圆形或矩形。上、下表皮细胞大小接近。上、下表皮细胞外壁加厚且均具角质层。上、下表皮均分布有气孔,气孔器的保卫细胞与表皮细胞在同一平面。叶肉近全栅化,为等

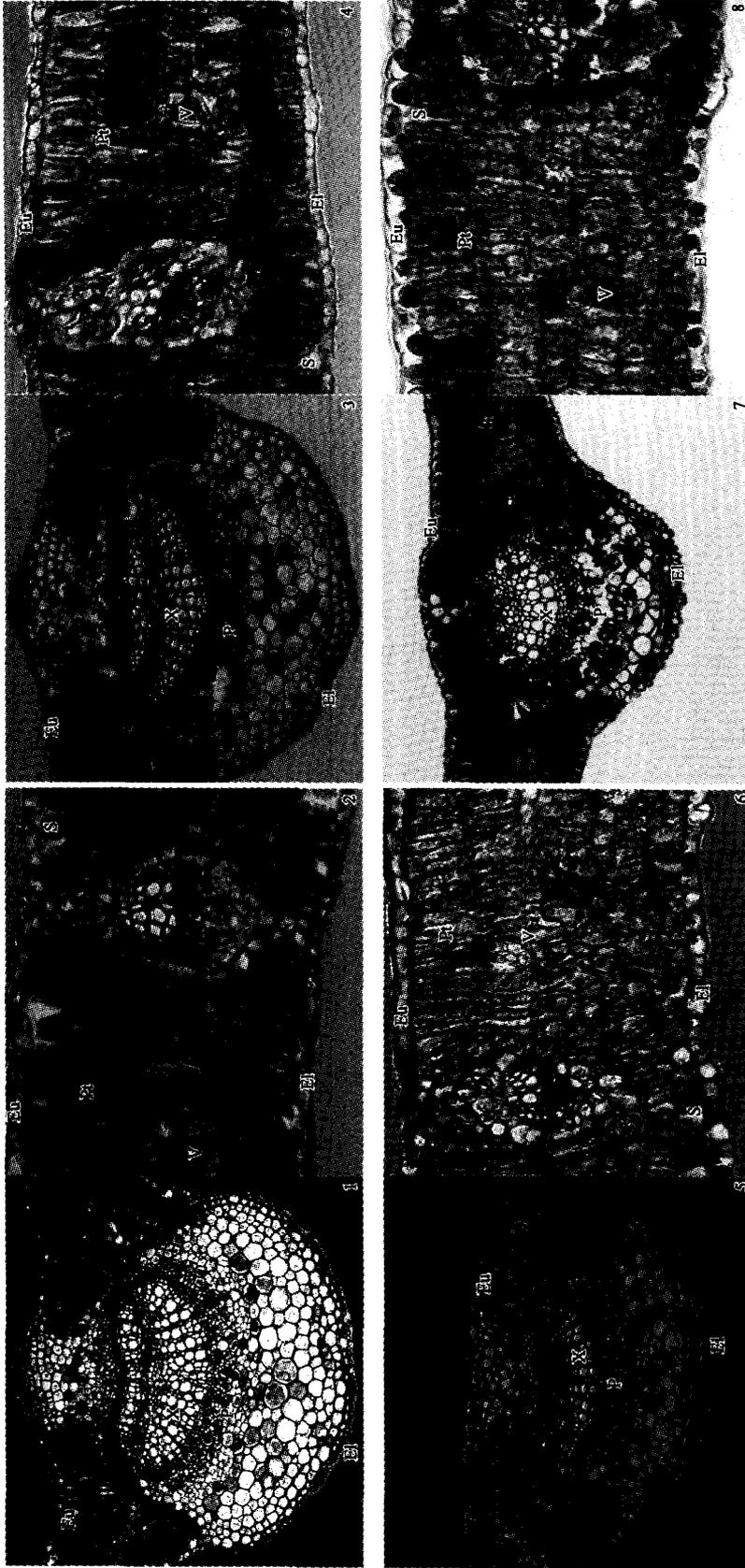


图 1 黄柳叶片解剖结构

Fig. 1 The leaf anatomical structure of *Salix gordejewii*

图版说明 Explanation of plate

1: 流动沙丘的黄柳叶片主脉(10 × 10); 2: 流动沙丘的黄柳叶片主脉(10 × 10); 3: 半固定沙丘的黄柳叶片主脉(20 × 10); 4: 半固定沙丘的黄柳叶片主脉(20 × 10); 5: 固定沙丘的黄柳叶片主脉(10 × 10); 6: 固定沙丘的小红柳叶片主脉(10 × 10); 7: 丘间低地的小红柳叶片主脉(10 × 10); 8: 丘间低地的小红柳叶片(20 × 10)

Eu: 上表皮; El: 下表皮; Pt: 栅栏组织; S: 气孔; V: 维管束; X: 木质部; P: 韧皮部

1: midrib of *Salix gordejewii* on the top of drifting sand dune(10 × 10); 2: leaf of *Salix gordejewii* on the top of drifting sand dune(20 × 10); 3: midrib of *Salix gordejewii* on the semi-fixed sand dune(10 × 10); 4: leaf of *Salix gordejewii* on the semi-fixed sand dune(20 × 10); 5: midrib of *Salix gordejewii* on the fixed sand dune(10 × 10); 6: leaf of *Salix gordejewii* on the fixed sand dune(20 × 10);

7: midrib of *Salix microstachya* var. *bordenis* on the inter-dunes lowland (10 × 10); 8: leaf of *Salix microstachya* var. *bordenis* on the inter-dunes lowland (20 × 10); Eu: Upper epidermis; El: Lower epidermis; Pt: Palisade tissue; S: Stoma; V: Vascular bundle; X: Xylem; P: Phloem

面叶。上表皮下栅栏组织细胞较大,下表皮上栅栏组织细胞较小,两部分之间细胞排列较为疏松。主脉向下突起,半圆形。主脉中的两个维管束与上述流动沙丘黄柳叶的主脉情况相同(见图 1.7、图 1.8)。

2.2 抗旱指标的方差分析

植物对于干旱环境的适应经历着不同的方式和途径,这些特征在不同的植物中表现的差异程度不一致。所以,采用方差分析的方法进行比较(见表 1)。

表 1 叶解剖结构特征值及方差分析  
Table 1 The indexes of anatomical structure characters of leaves and variance analysis

植物种 Plant species	流动沙丘的黄柳 <i>Salix gordejvii</i> on the drifting sand dune	半固定沙丘的黄柳 <i>Salix gordejvii</i> on the semi-fixed sand dune	固定沙丘的黄柳 <i>Salix gordejvii</i> on the fixed sand dune	丘间低地小红柳 <i>Salix microstachya</i> var. <i>bordensis</i> on the inter- dunes lowland	F 值 F Value
叶厚度 Thickness of leaf( $\mu\text{m}$ )	188.0	180.0	178.0	133.6	19.69**
上表皮细胞宽 × 厚 Breadth × thickness of upper epidermis cell( $\mu\text{m}^2$ )	16.3 × 12.1	16.0 × 10.2	15.5 × 10.7	14.5 × 9.5	2.98*
下表皮细胞宽 × 厚 Breadth × thickness of lower epidermis cell( $\mu\text{m}^2$ )	15.3 × 9.7	14.6 × 9.9	15.3 × 10.7	14.3 × 9.5	0.87
第一层栅栏组织细胞长 × 宽 Length × Breadth of the first layer cells of palisade tissue( $\mu\text{m}^2$ )	31.3 × 10.7	35.2 × 10.0	29.9 × 8.3	26.7 × 8.5	11.31**
第一层栅栏组织细胞密集度 Density of the first layer cells of palisade tissue(个/100 $\mu\text{m}$ )	8.4	8.5	11.9	9.7	26.57**
表皮细胞外壁 + 角质层 厚度 Thickness of epidermis cell wall and cuticle( $\mu\text{m}$ )	upper 3.3 lower 3.1	2.5 2.2	2.6 2.3	2.2 2.2	1.59 1.46
主脉厚度 Thickness of midrib( $\mu\text{m}$ )	742.8	605.3	443.7	302.1	138.7**

\*\* 表示差异极显著; \* 表示差异显著 ( $\alpha = 0.05$ ) \*\* Means very different significantly; \* Means different ( $\alpha = 0.05$ )

从表 1 的方差分析结果可以看出,分布在不同生境的黄柳以及其伴生种小红柳在叶厚度、第一层栅栏组织细胞的大小、第一层栅栏组织的细胞密集度、主脉厚度 4 个指标上具有极显著的差异,在上表皮细胞的大小这一指标上差异显著,在其余的 3 个指标上无显著差异。说明所选取的 8 个指标在反映材料抗旱性能上的敏感度不同,叶厚度、栅栏组织细胞的大小、第一层栅栏组织的细胞密集度、主脉厚度 4 个指标较其余的 4 个指标更灵敏。由于在 4 个指标上都具极显著差异,因此又做了 LSD 多重比较(见表 2)。

表 2 LSD 多重比较汇总  
Table 2 Summery of LSD multiple comparison

植物种 Plant species	叶厚度 Thickness of leaf( $\mu\text{m}$ )		第一层栅栏组织 细胞大小长 × 宽 Length × Breadth of the first layer cells of palisade tissue( $\mu\text{m}^2$ )		第一层栅栏组织 细胞密集度 Density of the first layer cells of palisade tissue (个/100 $\mu\text{m}$ )		主脉厚度 Thickness of midrib( $\mu\text{m}$ )	
	平均值 Average	分组 Group	平均值 Average	分组 Group	平均值 Average	分组 Group	平均值 Average	分组 Group
	流动沙丘的黄柳 <i>Salix gordejvii</i> on the drifting sand dune	188.0	A	31.3 × 10.7	A	8.4	C	742.8
半固定沙丘的黄柳 <i>Salix gordejvii</i> on the semi- fixed sand dune	180.0	A	35.2 × 10.0	A	8.5	C	605.3	C
固定沙丘的黄柳 <i>Salix gordejvii</i> on the fixed sand dune	178.0	A	29.9 × 8.3	B	11.9	A	443.7	B
丘间低地小红柳 <i>Salix microstachya</i> var. <i>bordensis</i> on the inter-dunes lowland	133.6	B	26.7 × 8.5	B	9.7	B	302.1	D

$\alpha = 0.05$  水平下,组间差异显著;组内差异不显著 A, B, C and D is different significantly each other when  $\alpha$  is 0.05

根据植物种间在单项指标的差异性进行分组,组间差异显著,组内差异不显著。由表2可以看出根据叶厚度可将植物种分为2组,分布在不同生境的黄柳为1组,小红柳单为1组。根据第一层栅栏组织细胞大小也可分为2组,流动沙丘的黄柳和半固定沙丘的黄柳为1组,固定沙丘的黄柳和丘间低地的小红柳为1组。根据第一层栅栏组织细胞密集度可分为3组,流动沙丘的黄柳和半固定沙丘的黄柳为1组,固定沙丘的黄柳和丘间低地的小红柳各为1组。而4种材料的主脉厚度都存在显著差异。LSD多重比较说明4个指标的灵敏度大小顺序依次是:主脉厚度>第一层栅栏组织细胞密集度>第一层栅栏组织细胞大小>叶厚度。

### 2.3 不同生境的黄柳以及丘间低地小红柳的抗旱性比较

由表1、表2的方差分析以及LSD多重比较可以看出,分布在不同生境的黄柳虽然属于同种植物,但由于生长的小生境不同,使得对干旱环境的适应对策也各不相同,但总体来看抗旱性大小顺序依次是:流动沙丘的黄柳>半固定沙丘的黄柳>固定沙丘的黄柳>丘间低地小红柳。分布在流动沙丘和半固定沙丘的黄柳由于小生境条件较差,叶片较厚,上、下表皮细胞外壁加厚且均具较厚的角质层,主脉发达,叶肉全栅化。而分布在固定沙丘的黄柳生境条件相对较好,各项指标均低于分布在流动沙丘和半固定沙丘的黄柳,但都明显高于生长在丘间低地的小红柳。

## 3 讨论

植物器官的形态结构是与其生理功能和生长环境密切相适应的。在长期外界生态因素的影响下,叶在形态结构上的变异性和可塑性最大,即叶对生态条件的反映最为明显<sup>[9]</sup>。环境的塑造使黄柳的叶片形成了一系列适应干旱条件的结构。

干旱条件下植物的生态适应性问题,历来受到国内外研究者的广泛重视,人们也针对不同的沙生植物从不同的角度来研究它们对干旱的生态适应性问题,并总结出一些旱生植物的一般性特征。植物叶片越厚,储水能力越强<sup>[10]</sup>。角质层由不透水的脂类物质组成<sup>[11]</sup>,能够防止植物体内水分的过分蒸腾,保持水分,角质层还具有较强的折光性,可以防止过强日照引起的伤害<sup>[12]</sup>。另外,坚硬的角质层还具有机械支撑作用,使植株在水分供应不足时,不会立即萎蔫<sup>[13]</sup>。表皮细胞外壁加厚也是植物对旱生环境的一种适应。较大的表皮细胞具有贮水作用,对于增强水分的调节能力有一定意义,这也是植物适应干旱的一种途径<sup>[11,14]</sup>。旱生植物的叶通常较小,以减少叶的蒸腾面积,但是叶面积的缩小虽可以减少蒸腾,却对光合作用不利,因此,旱生植物的叶肉向着提高光合效能方面发展,而高度发达的栅栏组织既可避免干旱地区强烈光照对叶肉细胞的灼伤,又可以有效的利用衍射光进行光合作用<sup>[15]</sup>,也就是说,栅栏组织越厚,栅栏组织细胞越小,且排列越紧密,则植物利用光能的效率越高。主脉主要起运输水分和养分的作用,发达的主脉则更有利于适应干旱环境。

由于所研究黄柳的3种不同生境在植被盖度、风力作用、土壤含水量以及蒸发量等方面存在差异,所以分布在3种不同生境的黄柳叶片之间在形态结构上也存在一定的差异。在流动沙丘,由于太阳辐射强烈,风力作用强,蒸发量大,因而生长在其上的黄柳是相对最耐旱的。而丘间低地由于风力作用小,蒸发量小,土壤水分相对较好,所以生长在丘间低地的小红柳比分布在3种不同生境的黄柳叶片的抗旱能力要低。

分布在3种不同生境的黄柳都比丘间低地的小红柳叶片厚,具有较强的储水能力,叶肉全栅化,为等面叶,上、下表皮细胞外壁加厚且均具角质层,从而既可以提高光合效能,又可以避免干旱地区强烈光照对叶肉细胞的灼伤。并且分布在流动沙丘的黄柳的气孔有的稍下陷,这可以减少蒸腾。分布在流动沙丘和半固定沙丘上的黄柳叶片具有发达的主脉,用来运输更多的水分和养分,以适应相对较差的小生境。

### References:

- [1] Kramer P J, Kozlowski T T. *Physiology of woody plants*. Academic Press Inc, 1979.
- [2] Wang X L, Ma J. A study on leaf-structure and the diversity of xerophytes ecology adaption. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(6): 787 ~ 792.
- [3] Wylie R B. Principles of foliar organization shown by sun-shade leaves from ten species of deciduous dicotyledon trees. *American Journal of Botany*, 1951, 38:355 ~ 361.
- [4] Jackson L W R. Effect of shade on leaf structure of deciduous tree species. *Ecology*, 1967, 48:498 ~ 499.

- [ 5 ] Wu X H. Vegetation is recovered quickly. Huhhot: Inner Mongolia Press, 2003, 179.
- [ 6 ] Zhu X W, Huang Z Y, Zhang S M. The responses of seed germination, seedling emergence and seedling growth in *Agropyron cristatum* to sand water content in Otindag Sandland, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (2):364 ~ 370.
- [ 7 ] Li Z L. *Moviemaking of vegetation*. Beijing: Science Press, 1973.
- [ 8 ] Pei X C, Xue H R. *SAS and appliance*. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1998.
- [ 9 ] Wang Y. Contrasts and observations of dissecting construction of three drought-resistant plant leaf slices. *Sichuan Forest Science*, 2003, 24(1): 64 ~ 67.
- [ 10 ] Chen Y M, Chen H B, Chen G J, *et al.* A study on leaf-structure and drought-resistant of banana. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2001, 92(4): 14 ~ 16.
- [ 11 ] Li G Y, Gao G X, Lu Y L, *et al.* Observation on the morphology and anatomical structure of three bushes. *Research of Soil and Water Conservation*, 1995, 2(2):141 ~ 145.
- [ 12 ] Li Y H. *Botany. The Second Press*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1995.
- [ 13 ] Li Z L. Morphology and structure of drought vegetation. *Biology Journal*, 1981, (4): 9 ~ 12.
- [ 14 ] Zhou G L, Da L X T, An Z X, *et al.* Study on the morphology of leaf epidermis and comparative anatomy of leaf of *Atriplex* in Xinjiang. *Arid Zone Research*, 1995, 12(3):34 ~ 37.
- [ 15 ] Yan L, L H, He X, *et al.* Ecological anatomy of nine priority species in A La San Area. *Journal of Inner Mongolia Agriculture University*, 2000, 21(3): 65 ~ 71.

## 参考文献:

- [ 2 ] 王勋陵,马骥.从旱生植物叶结构探讨其生态适应的多样性. *生态学报*, 1999, 19(6):787 ~ 792.
- [ 5 ] 吴新宏.浑善达克沙地植被快速恢复.呼和浩特:内蒙古大学出版社, 2003, 179.
- [ 6 ] 朱选伟,黄振英,张淑敏,等.浑善达克沙地冰草种子萌发、出苗和幼苗生长对土壤水分的反应. *生态学报*, 2005, 25(2):364 ~ 370.
- [ 7 ] 李正理. *植物制片学*.北京:科学出版社, 1973, 94 ~ 99.
- [ 8 ] 裴喜春,薛河儒. *SAS 及应用*.北京:中国农业出版社, 1998.
- [ 9 ] 王怡.三种抗旱植物叶片解剖结构的对比观察. *四川林业科技*, 2003, 24(1):64 ~ 67.
- [ 10 ] 陈豫梅,陈厚彬,陈国菊,等.香蕉叶片形态结构与抗旱性关系的研究. *热带农业科学*, 2001, (4):14 ~ 16.
- [ 11 ] 李广毅,高国雄,吕悦来,等.三种灌木植物形态特征及解剖结构的对比观察. *水土保持研究*, 1995, 2(2):141 ~ 145.
- [ 12 ] 李扬汉主编. *植物学*.第二版.上海:上海科学技术出版社, 1995. 139 ~ 155.
- [ 13 ] 李正理.旱生植物的形态和结构. *生物学通报*, 1981, (4):9 ~ 12.
- [ 14 ] 周桂玲,达利夏提,安争夕,等.新疆滨藜属植物叶表皮微形态学及叶的比较解剖学研究. *干旱区研究*, 1995, 12(3):34 ~ 37.
- [ 15 ] 燕玲,李红,贺晓,等.阿拉善地区 9 种珍稀濒危植物营养器官生态解剖观察. *内蒙古农业大学学报*, 2000, 21(3):65 ~ 71.