

不同紫花苜蓿品种叶片旱生结构的比较

寇建村^a,杨文权^b,贾志宽^c,狄升蒙^b,韩清芳^c

(西北农林科技大学 a 动物科技学院 b 生命科学学院 c 农学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】掌握不同紫花苜蓿品种叶片的旱生结构,为其引种和育种提供理论依据。【方法】对 17 个紫花苜蓿品种叶片进行解剖,选取 12 项抗旱指标,采用单因素分析方法对各品种进行两两多重比较,得到各指标的灵敏度,最后以叶片厚度、中脉厚度和栅栏组织厚度 3 个指标为主进行聚类分析。【结果】不同苜蓿品种叶片的抗旱性解剖结构之间差异极显著。各指标的灵敏度大小依次为:叶片厚度>中脉厚度>栅栏组织厚度>海绵组织厚度>栅栏组织/海绵组织>上表皮厚度>气孔密度>叶片组织结构紧密度>下表皮厚度>叶片组织结构疏松度>气孔长度>角质层厚度。聚类结果分析表明,17 个紫花苜蓿品种可聚为 3 个级别;其中‘保丰苜蓿’、‘新牧 1 号’、‘中苜 1 号’、‘卫士 302+Z’、‘路宝’、‘改革者+Z’和‘爱维兰’具有较好的抗旱性结构;‘爱菲尼特+Z’、‘超级阿波罗’、‘巨人 201+Z’、‘牧歌 401+Z’、‘射手’和‘牧野’的抗旱性结构中等;‘新疆大叶’、‘全能+Z’、‘胜利者’和‘超级 13R’叶的抗旱性结构较差。【结论】不同紫花苜蓿品种叶片具有不同的抗旱性结构。

【关键词】 紫花苜蓿;叶片;解剖结构;抗旱性

【中图分类号】 S551⁺.702 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-9387(2008)08-0067-06

Study on leaves anatomical structures relative to drought resistance of *Medicago sativa* vatieties

KOU Jian-cun^a, YANG Wen-quan^b, JIA Zhi-kuan^c, DI Sheng-meng^b, HAN Qing-fang^c
(a College of Animal Science and Technology, b College of Life Sciences, c College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract:【Objective】The study was to understand the structures of leaves of different varieties related to the drought resistance and provide the theoretical data for the introduction and breeding. 【Method】We studied the anatomical structures related to drought resistance of the leaves of 17 varieties of *Medicago sativa* L. based on 12 xeromorphic indexes, did the single factor multiple comparison between two varieties in order to conclude the sensitiveness sequence of the 12 indexes to the drought, and the clustering analysis based on 3 most sensitive indexes including the leaf thickness, the main vein thickness, the palisade tissue thickness. 【Result】The results showed that there was significant difference between the varieties at P<0.01 level. The following was the sequence of the sensitivity: leaf thickness> main vein thickness> palisade tissue thickness> spongy tissue thickness> ration of palisade tissue/spongy tissue> upper epidermis thickness> stoma density> CTR> lower epidermis thickness> SR> stoma length> cuticle thickness. And according to clustering analysis, the 17 varieties could be divided into three classes in terms of the ability of the leaves structures against the drought; Baofeng, Xinmu No. 1, Zhongmu No. 1, AmeriGuard302+Z, LoBo, Innovator+Z and Avalanche were best while Xinjiangdaye, Total+Z, Victor and 13R Supreme

* [收稿日期] 2007-09-11
[基金项目] 陕西省自然科学基金项目(2006C105)
[作者简介] 寇建村(1976—),女,青海湟中人,讲师,在读博士,主要从事草业科学研究。E-mail: jiancun02@163.com
[通讯作者] 贾志宽(1962—),男,山西朔州人,教授,博士生导师,主要从事旱区农业研究。E-mail: zhikuan@tom.com

were worst, and Affinity+Z, Apollo Supreme, Ameristand201+Z, AmeriGraze401+Z, Archer and Alfagraze were between them. 【Conclusion】 The leaves of the different varieties had the different anatomical structures related to drought resistance.

Key words: *Medicago sativa* L. ;leaf;anatomical structure;drought resistance

紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)简称苜蓿,为豆科重要的牧草植物,由于其营养价值高,适口性好,因而具有“牧草之王”的美誉。长期以来,国内外学者从形态特征、资源分布、遗传特性、生长规律等方面对苜蓿进行了广泛深入的研究^[1-4]。我国西北干旱半干旱地区是苜蓿的主要种植区,因此选择适宜的抗旱品种对该区苜蓿生产具有十分重要的意义。大量的研究表明,植物的抗旱性与植株的形态解剖结构有一定的相关性^[5]。叶片是植物暴露在空气中的最大器官,在长期外界生态因素的影响下,叶在形态构造上的变异性和可塑性也最大^[5]。但迄今为止,有关不同苜蓿品种叶片旱生解剖结构的研究尚

未见报道。为此,本试验对引进的 17 个紫花苜蓿品种叶片的旱生结构进行了研究,以期为干旱地区苜蓿引种及培育抗性较好的苜蓿品种提供形态解剖学方面的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

供试材料为 17 个从国内外引进的优良紫花苜蓿品种(表 1),2001 年种植于西北农林科技大学农作一站,2006 年 5 月于孕蕾期取各品种苜蓿植株中部健康叶片备用。

表 1 供试的 17 个紫花苜蓿品种及其来源

Table 1 Varieties and origin of 17 alfafa varieties

品种 Variety	来源 Origin	品种 Variety	来源 Origin
胜利者 Victor	美国 America	射手 Archer	美国 America
新疆大叶 Xinjiangdaye	新疆 Xinjiang	超级阿波罗 Apollo Supreme	美国 America
中苜 1 号 Zhongmu No. 1	北京 Beijing	超级 13R 13R Supreme	加拿大 Canada
保丰苜蓿 Baofeng	北京 Beijing	新牧 1 号 Xinmu No. 1	新疆 Xinjiang
改革者+Z Innovator+Z	美国 America	爱维兰 Avalanche	美国 America
全能+Z Total+Z	美国 America	卫士 302+Z AmeriGuard302+Z	美国 America
巨人 201+Z Ameristand201+Z	美国 America	路宝 LoBo	美国 America
爱菲尼特+Z Affinity+Z	美国 America	牧野 Alfagraze	美国 America
牧歌 401+Z AmeriGraze401+Z	美国 America		

1.2 紫花苜蓿气孔参数的测量

将无色指甲油迅速涂抹在新鲜苜蓿叶片的下表面,形成薄薄的一层,待有一层薄膜翘起,用镊子将其轻轻撕下,制作临时水装片^[6],置显微镜下观测其气孔密度和长度,每张图片观测 10 个视野,共观测 10 张水装片,结果取平均值。

1.3 紫花苜蓿叶片解剖结构的观察

选取不同品种苜蓿健康、成熟的叶片,以中脉为中心横切成大小为 5 mm×5 mm 的小块。将苜蓿叶片小块用 FAA(福尔马林-醋酸-酒精混合液)固定,10 g/L 番红整染,酒精梯度脱水,常规方法制作石蜡切片,切片厚度 10 μm。切片用 5 g/L 固绿复染,中性胶封片,于光学显微镜观测叶片、中脉、栅栏组织、海绵组织、角质层和上、下表皮厚度、中脉厚度,每张切片观测 1 个视野,所有指标均观测 10 张切片,结果取平均值,按下式计算叶片组织结构紧密度(CTR)和疏松度(SR):

$$CTR/\%=(\text{栅栏组织厚度}/\text{叶片厚度})\times 100\%,$$

$$SR/\%=(\text{海绵组织厚度}/\text{叶片厚度})\times 100\%。$$

1.4 数据处理

试验数据用 Excel 进行方差分析,用 SPSS13.0 软件进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同紫花苜蓿品种的叶片表皮特征

气孔是植物与外界进行气体和水分交换的重要门户,其着生位置、数量及大小与抗旱能力密切相关。现有的研究认为,下表皮上的气孔密度大,每个气孔的长度小,抗旱性强^[7-8]。表 2 表明,不同苜蓿品种气孔长度在 8.50~10.05 μm,气孔密度在 102.63~193.37 个/mm²,各品种间差异极显著($P<0.01$),其中‘中苜 1 号’、‘超级阿波罗’和‘新牧 1 号’的下表皮气孔密度较大、长度较小。

叶片蒸腾失水的部位除气孔外还有角质层,上

表皮的角质层厚度能影响角质蒸腾。厚的角质层可提高植物的能量反射和降低蒸腾,从而增强植物的抗旱性能;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^[9-10]。由表 2 可以看出,‘改革者+Z’和‘卫士 302+Z’的角质层厚度明显高于其他品种。

从解剖结构上可以看出,不同品种苜蓿叶片上、

下表皮均由一层细胞组成,上表皮细胞厚度在 5.605~7.985 μm,下表皮厚度相对较薄,为 4.825~7.525 μm,各品种间差异极显著。较厚的上表皮细胞具有贮水作用,对于增强水分的调节能力具有一定意义^[9]。由表 2 还可以看出,‘中苜 1 号’、‘保丰苜蓿’和‘超级阿波罗’的上表皮细胞较厚。

表 2 17 个紫花苜蓿品种叶片的表皮特征

Table 2 Comparison of skin tissue parameters of 17 alfalfa varieties

品种 Variety	上表皮 Upper epidermis		下表皮 Lower epidermis		
	角质层厚度/ μm Cuticle thickness	厚度/ μm Epidermis thickness	厚度/ μm Epidermis thickness	气孔长度/ μm Stoma length	气孔密度/ (个 $\cdot\text{mm}^{-2}$) Stoma density
胜利者 Victor	1.146 6	6.220	6.015	9.60	105.13
新疆大叶 Xinjiangdaye	1.332 8	6.245	5.775	8.50	152.69
中苜 1 号 Zhongmu No. 1	1.078 0	7.520	6.610	8.50	193.37
保丰苜蓿 Baofeng	1.323 0	7.985	7.525	9.80	102.63
改革者+Z Innovator+Z	1.744 4	6.380	6.220	10.05	171.46
全能+Z Total+Z	1.234 8	6.615	5.445	8.85	159.57
巨人 201+Z Ameristand201+Z	1.205 4	7.325	6.255	9.30	153.94
爱菲尼特+Z Affinity+Z	1.058 4	6.330	6.125	9.00	160.20
牧歌 401+Z AmeriGraze401+Z	0.989 8	6.015	5.425	9.40	153.32
射手 Archer	1.430 8	6.980	6.245	9.65	173.34
超级阿波罗 Apollo Supreme	1.097 6	7.660	6.985	8.65	172.09
超级 13R 13R Supreme	1.205 4	6.215	5.935	8.70	181.48
新牧 1 号 Xinmu No. 1	1.185 8	5.605	4.825	8.60	177.72
爱维兰 Avalanche	1.205 4	6.340	6.580	9.70	166.46
卫士 302+Z AmeriGuard302+Z	1.646 4	6.425	6.245	9.70	105.13
路宝 LoBo	1.283 8	7.170	6.190	8.55	163.95
牧野 Alfagraze	1.195 6	6.855	6.115	8.70	137.05
F 值 F value	7.25 **	14.55 **	13.42 **	5.40 **	20.85 **

注: ** . 表示 $P<0.01$ 水平的差异显著性。下表同

Note: ** . in the F Value column means there is a significant difference at $P<0.01$ level. The marks in the following tables have the same meaning.

2.2 不同紫花苜蓿品种的叶片结构特征

有研究认为,叶片越厚,储水能力相对越强,抗旱能力越好^[11]。从表 3 可以看出,不同苜蓿品种叶片厚度在 48.66~88.38 μm,各品种间差异极显著;‘卫士 302+Z’、‘爱菲尼特+Z’的叶片厚度明显大于其他品种。

中脉厚度反映了维管束和机械组织的发达程度。维管束具有良好的输送水分、营养物质和保水、贮水作用;强化的机械组织可以降低萎蔫时的损伤^[5,9,12]。从表 3 可以看出,不同苜蓿品种的中脉厚度差异极显著,其中‘中苜 1 号’、‘改革者+Z’、‘爱维兰’、‘卫士 302+Z’和‘路宝’的中脉较厚。

发达的栅栏组织可以加强光合作用,从而弥补叶片狭小带来的负面影响,光合效率越高,植物的生长速度和产量就越大,所以光合效率的提高可能也是一种抵抗干旱的非常重要的途径。因此,栅栏组

织厚度越大,海绵组织厚度越小,CTR 值越大,SR 值越小,植物的抗旱性越强^[9-11]。由表 3 可知,不同苜蓿品种的上述 4 个指标均呈极显著差异。

2.3 不同紫花苜蓿品种抗旱性指标的差异

由表 2 和表 3 可以看出,不同的抗旱性结构指标在反映单因素的总体差异程度上可能有所不同,这与以往的研究结果相似^[5,12]。为了进一步说明不同苜蓿品种在各抗旱性结构指标上的差异程度,分别对各指标进行了单因素多重比较。表 4 为各抗旱性结构指标多重比较结果,若某旱性结构指标多重比较差异显著次数多,则表明该指标灵敏度高^[5,12-13]。从表 4 可以看出,各抗旱性结构指标的灵敏度大小依次为:叶片厚度>中脉厚度>栅栏组织厚度>海绵组织厚度>栅栏组织/海绵组织>上表皮厚度>气孔密度>叶片组织结构紧密度>下表皮厚度>叶片组织结构疏松度>气孔长度>角质层厚

度。

表 3 17 个紫花苜蓿品种的叶片结构特征
Table 3 Comparison of leaf meal tissue of 17 alfalfa varieties

品种 Variety	叶片 厚度/ μm Leaf thickness	中脉 厚度/ μm Main vein thickness	栅栏组织 厚度/ μm Palisade tissue thickness	海绵组织 厚度/ μm Spongy tissue thickness	栅栏组织/ 海绵组织 Ration of Palisade tissue/Spongy tissue	CTR/%	SR/%
胜利者 Victor	62.08	266.583	28.01	24.03	1.180	0.451	0.387
新疆大叶 Xinjiangdaye	53.65	304.875	23.87	20.30	1.187	0.444	0.378
中苜 1 号 Zhongmu No. 1	75.00	400.728	36.50	28.61	1.269	0.487	0.382
保丰苜蓿 Baofeng	73.20	397.313	33.73	27.40	1.252	0.461	0.374
改革者+ZInnovator+Z	64.02	436.337	26.49	26.04	1.031	0.414	0.407
全能+ZTotal+Z	51.36	295.119	21.48	18.42	1.177	0.418	0.358
巨人 201+ZAmeristand201+Z	67.11	363.655	31.37	24.45	1.315	0.468	0.365
爱菲尼特+ZAffinity+Z	84.18	325.363	44.38	29.03	1.490	0.527	0.345
牧歌 401+ZAmeriGraze401+Z	64.28	367.313	27.35	24.04	1.168	0.426	0.374
射手 Archer	66.66	347.070	31.69	24.01	1.339	0.476	0.360
超级阿波罗 Apollo Supreme	71.23	324.875	32.82	24.06	1.365	0.461	0.338
超级 13R13R Supreme	66.78	218.778	30.30	23.61	1.304	0.454	0.354
新牧 1 号 Xinmu No. 1	73.56	392.679	33.01	30.80	1.086	0.449	0.419
爱维兰 Avalanche	68.56	440.483	30.12	27.69	1.099	0.439	0.404
卫士 302+ZAmeriGuard302+Z	88.38	404.142	44.53	30.76	1.466	0.504	0.348
路宝 LoBo	58.37	408.533	30.99	26.85	1.170	0.532	0.461
牧野 Alfagraze	48.66	334.387	19.27	17.10	1.147	0.397	0.352
F 值 F value	257.29**	7.25**	95.47**	39.52**	23.65**	10.92**	9.09**

表 4 17 个紫花苜蓿品种抗旱性结构指标的多重比较结果

Table 4 Summary of multiple comparisons between indexes relative to drought resistance of leaves of 17 varieties

指标 Index	差异极显著次数 Extremely significant difference frequency	差异显著次数 Significant difference frequency	差异不显著次数 No significant Difference frequency	总次数 Total frequency
角质层厚度 Cuticle thickness	36	2	98	136
中脉厚度 Main vein thickness	113	6	17	136
上表皮厚度 Upper-epidermis thickness	77	5	54	136
下表皮厚度 Lower-epidermis thickness	45	16	75	136
栅栏组织厚度 Palisade tissue thickness	99	11	26	136
海绵组织厚度 Spongy tissue thickness	93	5	38	136
叶片厚度 Leaf thickness	118	7	11	136
栅栏组织/海绵组织 Ration of palisade tissue/Spongy tissue	77	10	49	136
叶片组织结构紧密度 CTR	60	15	61	136
叶片组织结构疏松度 SR	59	1	76	136
气孔密度 Stoma density	68	13	55	136
气孔长度 Stoma length	24	31	81	136

2.4 不同紫花苜蓿品种抗旱性的聚类分析

根据表 4 得出的各抗旱性指标的灵敏度大小,选取叶片厚度、中脉厚度和栅栏组织厚度 3 个抗旱性结构指标作为综合评定的主要指标,采用离差平方和法对 17 个苜蓿材料进行聚类分析。结果(图 1)表明,17 个紫花苜蓿品种可聚为 3 类,其中‘保丰

苜蓿’、‘新牧 1 号’、‘中苜 1 号’、‘卫士 302+Z’、‘路宝’、‘改革者+Z’和‘爱维兰’聚为一类,其各项指标总体与其他品种差异较大,抗旱性最好;‘爱菲尼特+Z’、‘超级阿波罗’、‘巨人 201+Z’、‘牧歌 401+Z’、‘射手’和‘牧野’聚为一类,抗旱性中等;其余品种聚为一类,抗旱性较差。

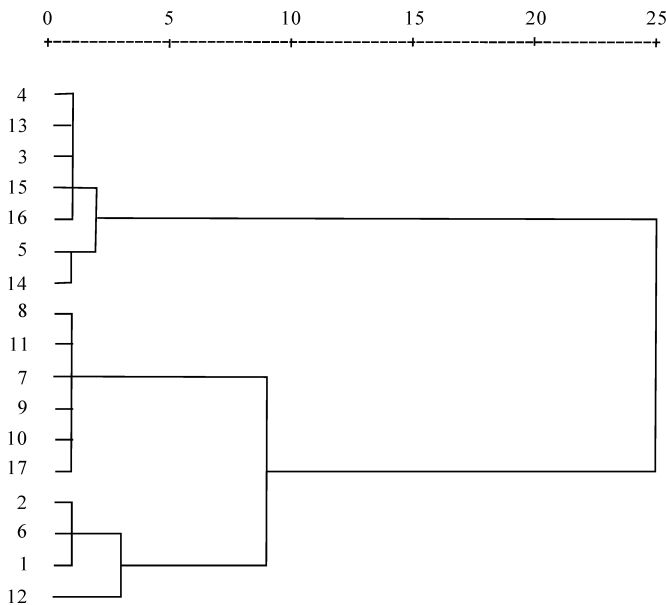


图 1 17 个紫花苜蓿品种的抗旱性树状聚类图

1. 胜利者;2. 新疆大叶;3. 中苜 1 号;4. 保丰苜蓿;5. 改革者+Z;6. 全能+Z;7. 巨人 201+Z;8. 爱菲尼特+Z;
9. 牧歌 401+Z;10. 射手;11. 超级阿波罗;12. 超级 13R;13. 新牧 1 号;14. 爱维兰;15. 卫士 302+Z;16. 路宝;17. 牧野

Fig. 1 Dendrogram of 17 varieties based on cluster analysis of drought resistance

1. Victor;2. Xinjiangdaye;3. Zhongmu No. 1;4. Baofeng;5. Innovator+Z;6. Total+Z;7. Ameristand201+Z;8. Affinity+Z;9. Ameri Graze
401+Z;10. Archer;11. Apollo Supreme;12. 13R Supreme;13. Xinmu No. 1;14. Avalanche;15. AmeriGuard302+Z;16. LoBo;17. Alfagraze

3 讨 论

由于遗传和环境条件的差异,不同植物对干旱具有不同的适应对策,在叶片结构上,主要是向着降低蒸腾、增强储水性和提高光合效率几个方面发展。为了降低蒸腾,植物叶片发育出密密的表皮毛、发达的角质层和下陷的气孔;为了增强储水能力,植物发育出厚厚的叶片和较大的表皮细胞,有的植物叶片中还出现含晶或粘液细胞;为了提高光合效率,植物叶肉中栅栏组织发达、海绵组织简化,单位面积气孔增加^[9-14]。以往的研究表明,不是每种植物都具有所有的抗旱性结构,不同植物的抗旱结构有时存在差异,找到灵敏度高的抗旱结构是抗旱解剖首要的工作^[5,10,12-14]。本试验表明,叶片厚度、中脉厚度和栅栏组织厚度为紫花苜蓿灵敏度较高的抗旱指标,而在以往研究中作为抗旱性较常用的指标角质层厚度却排在了最后,这可能是由于本试验材料紫花苜蓿为草本,且具中生植物的特点,因此其在叶片结构的抗旱性方面可能主要是以增强储水和提高光合为主。对其具体原因,还有待于进一步的研究。

植物的抗旱性是植物对干旱环境所作出的综合回应,是植物在形态结构、生理和生化等各方面综合的遗传性状,植物通过多种途径来抵御或忍耐干旱

胁迫的影响^[15-17]。表示植物抗旱性的指标很多,许多学者已提出,只有采用多指标的综合评价,才能比较客观地反映作物品种的抗旱性^[18-20]。本研究仅对苜蓿叶片的旱生解剖结构作了观察与分析,在今后的工作中,还应结合其他形态学和生理生化指标对紫花苜蓿的抗旱性进行综合研究,为其引种、育种奠定基础。

[参考文献]

[1] 耿华珠. 中国苜蓿 [M]. 北京:中国农业出版社,1995:15-30.
Geng H Z. Chinese alfalfa [M]. Beijing: China Agricultural Press,1995:15-30. (in Chinese)

[2] 刘琼琼,贾志宽,韩清芳,等. 不同多叶型苜蓿单株扦插后生物学性状的比较 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2006,34(5):39-44.
Liu Q Q, Jia Z K, Han Q F, et al. Comparison of biological characteristics between different cutting multifoliate alfalfa individuals [J]. Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition, 2006, 34(5): 39-44. (in Chinese)

[3] Volenes J J, Cunningham S M, Haageneson D M, et al. Physio-logical genetics of alfalfa improvement: past failures, future prospectes [J]. Field Crops Research, 2002, 75: 97-100.

[4] Bonnie S W, Zhentian L, Richard A. D, et al. Proteomics of medicago sativa cell walls [J]. Phytochemistry, 2004, 65: 1709-1720.

[5] 彭少兵,郭军战,林立挺. 树莓、黑莓不同品种叶解剖构造与抗

- 旱性的研究 [J]. 西北林学院学报, 2006, 21(1): 51-53.
- Peng S B, Guo J Z, Lin L T. Anatomical structures of leaves of 13 raspberry and blackberry varieties and their drought resistance features [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(1): 51-53. (in Chinese)
- [6] 刘明智, 努尔巴衣, 阿布都沙力克, 等. 指甲油涂抹撕取法制取植物叶气孔水装片 [J]. 生物学通报, 2005, 40(10): 44.
- Liu M H, Nueby, Abdslk, et al. Method of making water section of leaves using enamel to observe stoma [J]. Biology bulletin, 2005, 40(10): 44. (in Chinese)
- [7] 路贵和, 刘学义, 张学武. 不同抗旱类型大豆品种气孔特性初探 [J]. 山西农业科学, 1994, 22(4): 8-11.
- Lu G H, Liu X Y, Zhang X W. Preliminary study on stomatal characteristics in different types of drought-resistant soybean cultivars [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 1994, 22(4): 8-11. (in Chinese)
- [8] Frédéric Thévenard, Bernard Gomez, Véronique Daviero-Gomez. Xeromorphic adaptations of some Mesozoic gymnosperms. A review with palaeoclimatological implications [J]. Comptes Rendus Palevol, 2005(4): 67-77.
- [9] 周智彬, 李培军. 我国旱生植物的形态解剖学研究 [J]. 干旱区研究, 2002, 19(1): 35-40.
- Zhou Z B, Li P J. A review on the phytotomy research of xerophytes in China [J]. Arid Zone Research, 2002, 19(1): 35-40. (in Chinese)
- [10] 高洁, 张尚云, 傅美芬, 等. 干热河谷主要造林树种旱性结构的初步研究 [J]. 西南林学院学报, 1997, 17(2): 59-63.
- Gao J, Zhang S Y, Fu M F, et al. A preliminary study on xeromorphism of some important silvicultural species in the dry-hot river valley [J]. Journal of Southwest Forestry College, 1997, 17(2): 59-63. (in Chinese)
- [11] 孟庆杰, 王光全, 董绍锋, 等. 桃叶片组织解剖结构特征与其抗旱性关系的研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(3): 123-126.
- Meng Q J, Wang G Q, Dong S F, et al. Relation between leaf tissue parameters and drought resistance of peaches [J]. Agriculture Research in the Arid Areas, 2004, 22(3): 123-126. (in Chinese)
- [12] 梅秀英, 姜在民, 崔宏安, 等. 核桃和铁核桃品种(优系)叶形态构造与其抗旱性的研究 [J]. 西北林学院学报, 1998, 13(1): 16-20.
- Mei X Y, Jiang Z M, Cui H A, et al. A study on the anatomical structures of the leaves of 14 *Juglans regia* and *Juglans sigillata* varieties (excellent clones) [J]. Journal of Northwest Forestry College, 1998, 13(1): 16-20. (in Chinese)
- [13] 李晓储, 黄利斌, 张永兵, 等. 四种含笑叶解剖性状与抗旱性的研究 [J]. 林业科学研究, 2006, 19(2): 177-181.
- Li X C, Huang L B, Zhang Y B, et al. Studies on leaf anatomic indexes and their relations to drought resistance of the four Species of *Michelia* [J]. Forest Research, 2006, 19(2): 177-181. (in Chinese)
- [14] 王怡. 三种抗旱植物叶片解剖结构的对比观察 [J]. 四川林业科技, 2003, 24(1): 64-67.
- Wang Y. Contrasts and observations of dissecting structures of three drought-resistant plant leaf slices [J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2003, 24(1): 64-67. (in Chinese)
- [15] James A S, Sarah J G, William R G. Resistance to water stress of *Alnus maritima*: intraspecific variation and comparisons to other alders [J]. Environmental and Experimental Botany, 2005, 53: 281-298.
- [16] 李燕, 薛立, 吴敏. 树木抗旱机理研究进展 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1857-1866.
- Li Y, Xue L, Wu M. Research advances in mechanisms of tree species drought resistance [J]. Chinese journal of ecology, 2007, 26(11): 1857-1866. (in Chinese)
- [17] Nobutaka K, Shigeki S, Yutaka M, et al. Chemical regulation of abscisic acid catabolism in plants by cytochrome P450 inhibitors [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2005, 13: 4491-4498.
- [18] 王士强, 胡根岗, 余奎军, 等. 小麦抗旱相关农艺性状和生理生化性状的灰色关联度分析 [J]. 中国农业科学, 2007, 40(11): 2452-2459.
- Wang S Q, Hu Y G, She K J, et al. Gray relational grade analysis of agronomical and physi-biochemical traits related to drought tolerance in wheat [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(11): 2452-2459. (in Chinese)
- [19] 张明生, 刘志, 戚金亮, 等. 甘薯品种抗旱适应性综合评价的方法研究 [J]. 热带亚热带植物学报, 2005, 13(6): 469-474.
- Zhang M S, Liu Z, Qi J L, et al. Methods of comprehensive evaluation for drought resistance in sweet potato cultivars [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2005, 13(6): 469-474. (in Chinese)
- [20] 李贵全, 张海燕, 季兰, 等. 不同大豆品种抗旱性综合评价 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2408-2412.
- Li G Q, Zhang H Y, Ji L, et al. Comprehensive evaluation on drought-resistance of different soybean varieties [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(12): 2408-2412. (in Chinese)