

不同沙棘品种雌雄株叶片解剖结构及抗旱性比较

赵延霞¹ 骆有庆¹ 宗世祥¹ 王 荣¹ 罗红梅²

(1 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室 2 中国林业科学研究院沙漠林业实验中心)

摘要: 为明确不同沙棘品种抗旱性, 选取 6 个沙棘品种雌雄株叶片, 采用石蜡切片方法, 对叶片角质层厚度、上表皮厚度、下表皮厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、叶片厚度、栅海比、叶片组织结构紧密度、叶片组织结构疏松度等指标进行观察比较。结果表明: 以上 9 个指标均呈现明显的抗旱特征, 且雌雄株均存在显著种间差异; 雌株叶片角质层厚度和栅栏组织厚度变化幅度较大, 雄株栅栏组织厚度、海绵组织厚度和叶片厚度的变异系数较大, 均在 20% 以上; 雌株筛选出栅栏组织厚度、上表皮厚度、下表皮厚度、海绵组织厚度、叶片组织结构疏松度 5 个抗旱指标, 按照隶属函数法对 6 种雌性沙棘控水能力进行综合评价, 抗旱顺序为浑金 > 丘依斯克 × 中国沙棘 > 中国沙棘 > 楚伊 > 太阳 > 乌兰格木 × 中国沙棘; 雄株以栅海比、下表皮厚度、栅栏组织厚度、叶片组织结构疏松度为抗旱指标, 得到 5 种雄性沙棘抗旱顺序为丘依斯克 × 中国沙棘 > 楚伊 > 乌兰格木 × 中国沙棘 > 浑金 > 中国沙棘。

关键词: 沙棘; 雌雄异株; 叶片; 解剖结构; 抗旱性

中图分类号: S793.6 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2012)06-0034-08

ZHAO Yan-xia¹; LUO You-qing¹; ZONG Shi-xiang¹; WANG Rong¹; LUO Hong-mei². **Comparison in leaf anatomical structure and drought resistance of different sex and varieties of sea buckthorn.**

Journal of Beijing Forestry University (2012) 34(6) 34-41 [Ch, 43 ref.]

1 Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

2 Experimental Center of Desert Forestry, Chinese Academy of Forestry, Dengkou, Inner Mongolia, 015200, P. R. China.

Leaf indexes of six sea buckthorn varieties were analyzed based on paraffin section for the purpose of investigating drought resistance, including the cuticle thickness of leaves, upper and lower epidermis thickness, palisade tissue thickness, thickness of spongy tissue, leaf thickness, ration of palisade/spongy, tightness and looseness of leaf tissue structure, etc. Our results indicated that the foregoing indexes showed conspicuous drought resistant, and significant difference existed between male and female individuals respectively. The female cuticle thickness and palisade tissue thickness varied largely while the male palisade tissue thickness, thickness of spongy tissue and leaf thickness had relatively high coefficients of variation, all above 20%. The female palisade tissue thickness, upper and lower epidermis thickness, thickness of spongy tissue and tissue structure loose ratio (SR) were selected to evaluate the water control capability of six sea buckthorn varieties comprehensively according to subordinate function value method. The order of drought resistance for six female sea buckthorn was Hunjin > Qiuyisike × Zhongguoshaji > Zhongguoshaji > Chuyi > Taiyang > Wulangemu × Zhongguoshaji. Leaf tissue structure tense ratio (CTR), lower epidermis thickness, thickness of palisade tissue and SR were selected as male drought resistance indexes, and the order of drought resistance for male sea buckthorn was Qiuyisike × Zhongguoshaji > Chuyi > Wulangemu × Zhongguoshaji > Hunjin > Zhongguoshaji.

Key words sea buckthorn; dioecious; leaf; anatomical structure; drought resistance

收稿日期: 2012-01-07

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (30730075)、"十二五"国家科技支撑计划项目 (2012BAD19B07)。

第一作者: 赵延霞。主要研究方向: 森林害虫防治。电话: 010-62338492 Email: zyx541523@163.com 地址: 100083 北京市清华东路 35 号北京林业大学 989 信箱。

责任作者: 骆有庆, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 林木钻蛀性害虫生态调控。电话: 010-62338279 Email: yqluo@bjfu.edu.cn 地址: 同上。

本刊网址: <http://journal.bjfu.edu.cn>

沙棘 (*Hippophae rhamnoides* L.) 为胡颓子科 (Elaeagnaceae) 沙棘属 (*Hippophae*) 灌木或小乔木, 具有很强的抗逆性, 分布广泛。目前, 中国是世界上沙棘资源最为丰富的国家^[1-5]。沙棘在我国“三北”干旱和半干旱地区均有分布, 沙棘的抗旱、抗寒、抗盐碱等特性使其成为这些地区防风固沙、改良土壤的先锋树种^[6], 稳定的沙棘林对生态环境和经济的持续健康发展具有保障作用。沙棘品种的抗旱性对沙棘林的稳定发展至关重要, 因此, 国内学者们在利用沙棘的抗旱性进行品种筛选方面进行了大量研究^[7-11], 以期为营建健康稳定的沙棘生态林提供科学依据。

植物在长期外界生态因素的影响下, 叶片在其形态构造上的变化最大, 对生态条件的反应最为明显^[12], 因此, 沙棘的叶片解剖学性状成为衡量沙棘抗旱性的重要指标。同时, 沙棘属于雌雄异株植物, 自 Darwin^[13] 最早认识到雌雄异株植物具有性别特化和对资源的不同需求等特点后, 雌雄异株现象一直是研究的热点。郭学民等^[14] 和杨赵平等^[15] 曾分别对美国红栲 (*Fraxinus pennsylvanica*) 和胡杨 (*Populus euphratica*) 的雌雄株的抗旱性进行了比较和研究。由于雌雄个体在适应自然的过程中可能采取不同的生态对策, 使其在生长、生殖、空间分布和资源配置方面表现出明显的差异^[16-23], 高丽等^[24] 通过比较中国沙棘雌雄株叶片的形态结构研究了种内雌雄株在抗旱性方面的差异, 结果表明, 雌株对干旱胁迫的适应性和生理调节能力更强。然而, 目前尚未发现同时针对不同沙棘品种雌雄个体间抗旱性的相关报道。本研究通过隶属函数值法, 对具有不同沙棘木蠹蛾抗性的 6 种沙棘品种雌雄株的叶片解剖学性状进行分析, 筛选出能够科学评价不同沙棘品种雌雄株抗旱性的生理指标, 并结合沙棘雌雄株性状的差异对 6 种沙棘品种的抗旱性进行评价, 以期为当地科学营建稳定、健康沙棘林提供品种选育和雌雄株合理配置的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选取内蒙古磴口县中国林业科学院沙漠研究所林场内的 6 个 4~6 年生沙棘树种 (品种), 包括沙棘亚种 1 个: 中国沙棘 (ZG) *H. rhamnoides* subsp. *sinensis*; 沙棘品种 3 个: 浑金 (HJ)、楚伊 (CY)、太阳 (TY), 均为蒙古沙棘亚种 *H. rhamnoides* subsp. *mongolica* 培育的品种 (太阳为雌株品种); 杂交品种 2 个: 丘依斯克 × 中国沙棘 (QMZ)、乌兰格木 × 中国沙棘 (WMZ)。试验材料均选取健康无病虫害植株,

以下统称为 6 个沙棘品种。

1.2 研究方法

1.2.1 取样方法

2010 年 8 月初, 采集以上 6 个沙棘品种的叶片, 每个品种雌雄各取 3 株 (TY 只有 3 株雌株), 每株从其树冠东南西北 4 个方向取样: 采其 5~7 位成熟叶, 每个方向取 10 个叶片, 每个叶片取其中间 0.5 cm² 大小样块, 每株共计 40 个样块, 将样块取下后立即用 FAA 固定液固定。

1.2.2 测量方法

每株叶片中随机选取 5 个叶片样块, 采用常规石蜡切片法制成叶片横切面玻片, 切片厚度为 8~10 μm, 采用 OLYMPUS 显微拍照, 用 ImageJ1.43u 软件进行测量。观测内容为叶片上表皮厚度、下表皮厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、叶片厚度和表皮角质层厚度, 每个样块观察 35 个视野, 并作如下计算:

$$\text{栅海比} (T_{\text{RPS}}) = \text{栅栏组织厚度} / \text{海绵组织厚度} \quad (1)$$

$$\text{叶片栅栏组织结构紧密度} (D_{\text{CTR}}) = \text{栅栏组织厚度} / \text{叶片厚度} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{叶片海绵组织结构疏松度} (L_{\text{SR}}) = \text{海绵组织厚度} / \text{叶片厚度} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{变异系数} (CV) = (\text{标准差} / \text{算术平均数}) \times 100\% \quad (4)$$

1.2.3 数据分析方法

所有数据均采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 17.0 软件进行统计分析。用单因素方差分析对各个指标的大小和差异性及其变异系数进行分析, 用分层聚类的方法筛选抗旱指标, 对各典型指标的选择根据其相关系数计算相关指数, 相关指数的计算公式^[25]为

$$\overline{R_i^2} = \frac{\sum r^2}{n-1} \quad (5)$$

式中: $\overline{R_i^2}$ 为每类中每个指标相关指数; n 为每类中指标个数; $i=1, 2, \dots, n$; r 为同类中某指标与其他指标之间的相关系数。

应用 Fuzzy 数学中隶属函数值法算出各品种雌雄株的多个抗旱性指标的综合评判值^[26-27], 隶属函数值计算公式如下:

$$U(x_i) = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (6)$$

式中: $U(x_i)$ 为隶属函数值; x_i 为指标测定值; x_{\max} 、 x_{\min} 为某一指标的最大值和最小值。若某一指标与植物的抗旱性呈负相关, 则用反隶属函数进行计算, 其公式如下:

$$U(x_i) = 1 - (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (7)$$

2 结果与分析

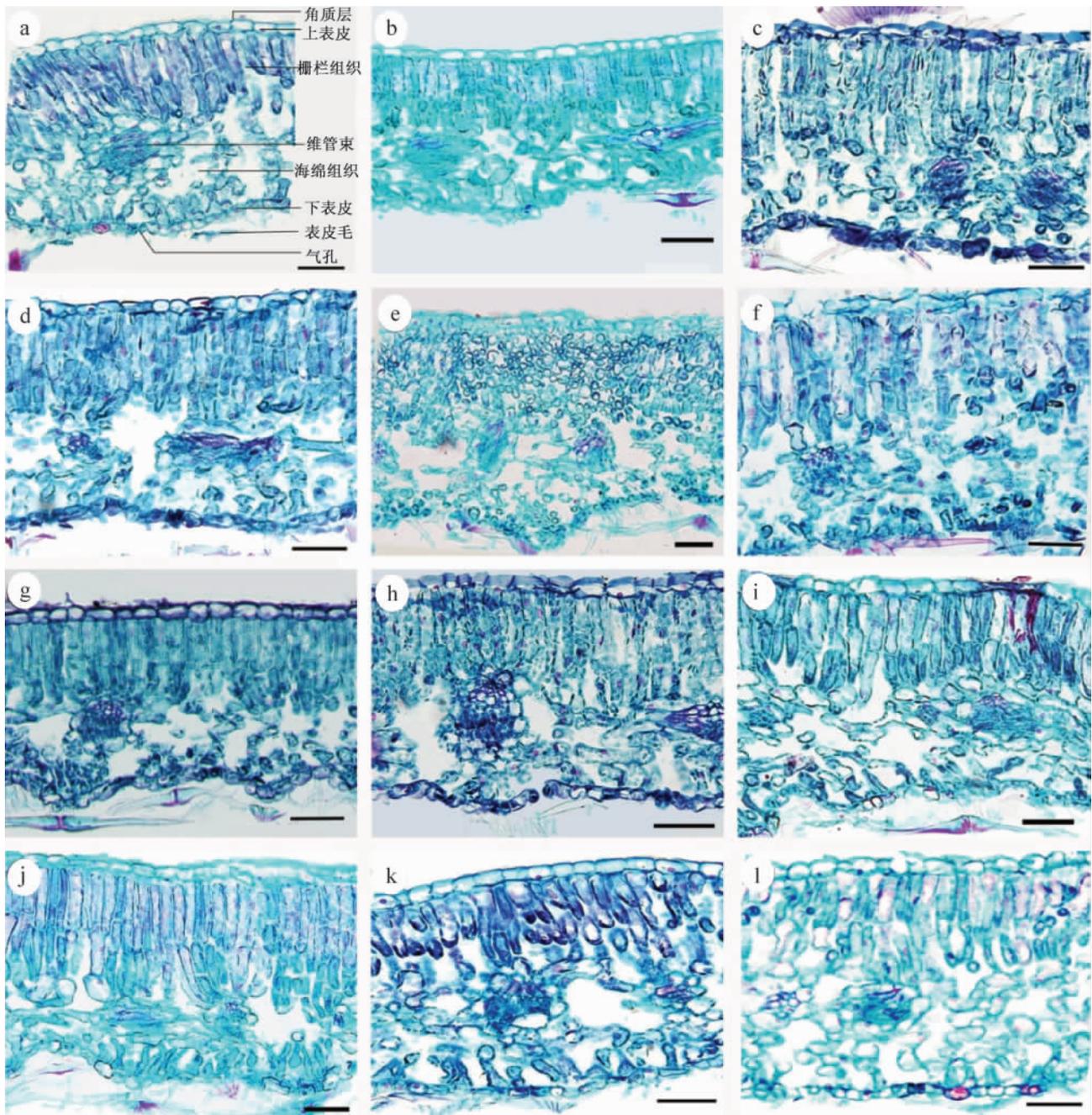
2.1 叶片形态特征

沙棘叶片狭长形,为典型异面叶,其叶片横切面如图1所示。从叶片的横切面来看,叶片上表皮细胞较大,分布比较整齐,其外有一层厚厚的角质层,上表皮细胞通常只有1层,多呈规则的长方形;叶肉细胞中,栅栏组织和海绵组织分化明显,栅栏组织发达,由2~3层细胞整齐而紧密的排列而成,栅栏组织细胞多为长柱形,少数为卵圆形;海绵组织细胞多

为椭圆形,分布稀疏,细胞间空隙很大;下表皮细胞较小,多为卵圆形或不规则形,下表皮细胞排列紧凑,但不整齐,呈不规则起伏,在下表皮上密被数层银白色的表皮毛。叶片的这些指标因品种、立地条件等的不同而不同,是重要的抗旱性指标。

2.1.1 表皮角质层

角质层能有效地减少植物体内水分的散失,其厚度与其控水能力呈正相关。从表1可见:雌株中,品种间差异极显著($P < 0.01$),其变异系数(CV)高达20%以上,各品种的表皮角质层厚度的大小顺



a. 结构示意图; b. 太阳雌株; c. 丘依斯克 × 中国沙棘雌株; d. 丘依斯克 × 中国沙棘雌株; e. 楚伊雌株; f. 楚伊雌株; g. 乌兰格木 × 中国沙棘雌株; h. 乌兰格木 × 中国沙棘雌株; i. 浑金雌株; g. 浑金雄株; k. 中国沙棘雌株; l. 中国沙棘雌株 (标尺 = 50 μm)

图1 不同沙棘品种雌雄株叶片横切面

Fig.1 Leaf cross-sections of different sex and varieties in sea buckthorn

序为 TY > HJ > ZG = QMZ > WMZ > CY, 其中, TY 和 HJ 的表皮角质层厚度超过 2 μm ; 雄株中, 品种间的差异性也达到极显著性水平 ($P < 0.01$), 各品种的表皮角质层厚度的大小顺序为 QMZ > HJ > WMZ = CY > ZG, 除 ZG 外, 其他 4 个品种的表皮角质层厚度均超过 2 μm , 雄株表皮角质层比雌株的厚, 各品种沙棘雌雄株叶片的表皮角质层厚度均表现出明显的旱生特征。

2.1.2 叶片表皮

叶片表皮包括上表皮和下表皮, 上表皮一般比

下表皮厚, 表皮直接与外界环境接触, 具有保护和贮水的功能, 其越厚则控水能力越强。由表 1 可以看出: 对于雌株来说, 上表皮较厚 (> 14 μm) 的有 ZG、QMZ、HJ、CY, TY 和 WMZ 的相对较薄, 但也在 13 μm 左右; 下表皮较厚 (> 12 μm) 的有 QMZ 和 CY, 其余 4 个均在 10 ~ 12 μm 之间。对于雄株来说, 上表皮较厚 (> 14 μm) 的有 CY、ZG、HJ, QMZ 的上表皮厚度接近 14 μm , WMZ 的最小; 下表皮较厚 (> 12 μm) 的有 QMZ 和 CY, 较薄 (10 ~ 12 μm) 的为 WMZ、HJ、ZG。

表 1 6 种沙棘雌/雄株叶片的组织结构参数

Tab. 1 Parameters of leaf tissue structure in six male and female sea buckthorn varieties

品种	T_C	T_{UE}	T_{LE}	T_P	T_S	T_L	T_{RPS}	D_{CTR}	L_{SR}	
雌株	TY	2.07a	13.08bc	11.27bc	89.09c	65.38b	180.65c	1.39b	49.45c	36.03bc
	QMZ	1.97a	15.37a	13.89a	111.22b	81.36a	222.76b	1.39b	49.80c	36.83b
	CY	1.01b	14.65ab	12.27b	139.41a	88.68a	261.09a	1.60ab	53.43ab	33.93bc
	WMZ	1.90a	12.29c	10.06d	72.11d	71.98b	170.16c	1.01c	41.63d	42.66a
	HJ	2.03a	14.92a	11.49bc	136.50a	80.73a	245.94a	1.73a	55.43a	32.74c
	ZG	1.97a	15.73a	10.87cd	108.31b	71.85b	210.34b	1.54ab	51.26bc	34.36bc
	平均值	1.83	14.34	11.64	109.44	76.66	215.16	1.44	50.17	36.09
	F 值	23.24**	5.61**	10.86**	41.58**	8.04**	39.00**	13.00**	17.23**	10.91**
CV/%	22.16	9.46	11.33	23.98	11.00	16.57	17.13	9.48	9.81	
雄株	QMZ	2.29a	13.92bc	13.11a	108.07bc	61.04d	200.15c	1.80a	53.77a	30.50c
	CY	2.02bc	18.16a	12.01b	153.90a	120.71a	312.09a	1.30b	49.24b	38.73ab
	WMZ	2.02bc	13.30c	11.42bc	98.50c	70.86c	195.13c	1.42b	50.62b	36.18b
	HJ	2.24ab	14.06bc	11.35bc	116.32b	94.93b	238.67b	1.29b	48.87b	39.61a
	ZG	1.94c	14.86b	10.77c	81.35d	79.26c	189.88c	1.06c	42.87c	40.89a
	平均值	2.10	14.86	11.73	111.63	85.36	227.18	1.37	49.08	37.18
	F 值	2.666*	14.929**	5.645**	42.209**	30.332**	54.963**	14.091**	14.608**	12.759**
	CV/%	7.22	12.97	7.57	24.17	27.35	22.54	19.76	8.09	11.06

注: T_C 为表皮角质层厚度 (μm), T_{UE} 为上表皮厚度 (μm), T_{LE} 为下表皮厚度 (μm), T_P 为栅栏组织厚度 (μm), T_S 为海绵组织厚度 (μm), T_L 为叶片厚度 (μm), T_{RPS} 为栅栏组织与海绵组织比 (栅海比), D_{CTR} 为叶片组织结构紧密度 (%), L_{SR} 为叶片组织结构疏松度 (%); * 在 0.05 水平下差异显著, ** 在 0.01 水平下差异显著; 同列不同小写字母表示树种间在 0.05 水平下的差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.1.3 叶肉组织

栅栏组织具有光合作用和防止水分蒸发的功能, 在水分充足时, 还可以增加植物的蒸腾作用^[28-29], 因此栅栏组织与海绵组织的比值 (栅海比)、叶片的组织结构紧密度 (D_{CTR}) 的值越大, 控水能力越强, 叶片组织结构的疏松度 (L_{SR}) 则相反。叶片厚度常作为植物抗旱指标之一, 越厚水分散失越慢, 抗旱性越强。表 1 显示: 在雌株中, 栅栏组织的厚度和叶片厚度大小顺序均为 CY > HJ > QMZ > ZG > TY > WMZ, 海绵组织的厚度由大到小依次为 CY、QMZ、HJ、WMZ、ZG、TY; 6 个品种雌株叶片厚度在 170 ~ 262 μm 之间, 其中, QMZ、CY、HJ 和 ZG 的叶片厚度均超过 200 μm ; 从栅海比及叶片组织结构紧密度来看, HJ、CY 和 ZG 的栅栏组织发达, WMZ 的栅栏组织最不发达。在雄株中, 栅栏组织的厚度和叶片厚度大小顺序均为 CY > HJ > QMZ > WMZ > ZG, 海绵组织的厚度由大到小依次为 CY、HJ、QMZ、

WMZ、ZG; 叶片厚度约在 190 ~ 320 μm 之间, 整体比雌株的叶片厚, 除 WMZ 和 ZG 外, 叶片厚度均超过 200 μm ; QMZ 的栅栏组织最发达, ZG 的栅栏组织最不发达。

2.2 沙棘抗旱性的综合评价

2.2.1 叶片抗旱性形态结构指标的筛选

只有选取彼此独立的有代表性的叶片抗旱性指标才能获得抗旱性评价的最佳方案。尽管角质层对叶片的抗旱性分析具有一定的价值, 但根据可比性和可测性原则, 考虑用其他的指标替代。根据统计学原理和方差分析结果, 对雌雄株的 8 个指标采用分层聚类方法进行分析, 结果见图 2、3。

对于雌株, 由图 2 可知, 在欧氏间距约为 10 时, 聚为 5 类: 第 1 类包括栅栏组织厚度、叶片厚度、栅海比、叶片组织结构紧密度; 第 2 类为上表皮厚度; 第 3 类为下表皮厚度; 第 4 类为海绵组织厚度; 第 5 类为叶片组织结构疏松度。

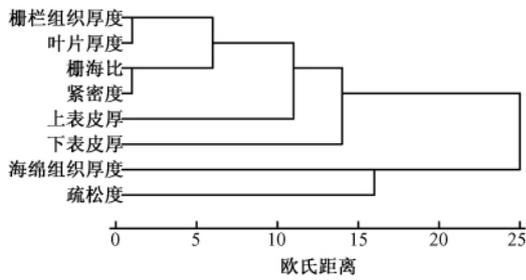


图 2 雌株叶片 8 项指标聚类结果

Fig. 2 Clustering results of eight indexes of female leaves

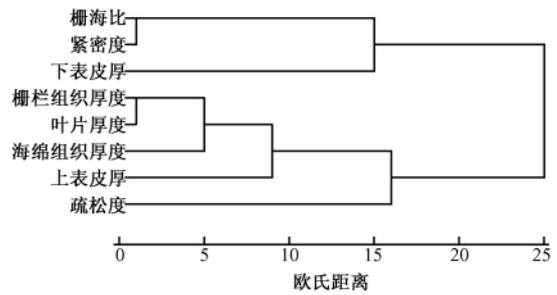


图 3 雄株叶片 8 项指标聚类结果

Fig. 3 Clustering results of eight indexes of male leaves

对于雄株,由图 3 可知,在欧氏间距为 10 时,聚为 4 类:第 1 类包括栅海比、叶片组织结构紧密度;第 2 类包括下表皮厚度;第 3 类包括栅栏组织厚度、叶片厚度、海绵组织厚度和上表皮厚度;第 4 类包括叶片组织结构疏松度。

具体各类中典型指标的选择首先应根据相关指数(公式 5)的大小来确定,由各指标间的相关系数(表 2 和表 3)计算各类指标的相关指数,结果见表 4 和表 5。指标的相关指数越大,表示该指标的代表性越强。

表 2 雌株叶结构指标的相关矩阵

Tab. 2 Correlation matrix of structure parameters of female leaves

指标	T_{UE}	T_{LE}	T_P	T_S	T_L	T_{RPS}	D_{CTR}	L_{SR}
T_{UE}	1							
T_{LE}	0.259*	1						
T_P	0.546**	0.393**	1					
T_S	0.282**	0.286**	0.458**	1				
T_L	0.567**	0.431**	0.944**	0.695**	1			
T_{RPS}	0.421**	0.233*	0.769**	-0.200	0.542**	1		
D_{CTR}	0.393**	0.287**	0.843**	-0.002	0.634**	0.935**	1	
L_{SR}	-0.407**	-0.259*	-0.700**	0.264**	-0.493**	-0.955**	-0.876**	1

表 3 雄株叶结构指标的相关矩阵

Tab. 3 Correlation matrix of structure parameters of male leaves

指标	T_{UE}	T_{LE}	T_P	T_S	T_L	T_{RPS}	D_{CTR}	L_{SR}
T_{UE}	1							
T_{LE}	0.047	1						
T_P	0.569**	0.164	1					
T_S	0.468**	-0.112	0.614**	1				
T_L	0.603**	0.051	0.905**	0.883**	1			
T_{RPS}	0.009	0.323**	0.250*	-0.579**	-0.154	1		
D_{CTR}	0.044	0.282*	0.440**	-0.403**	0.027	0.928**	1	
L_{SR}	0.061	-0.338**	-0.096	0.703**	0.295**	-0.953**	-0.848**	1

从表 4 可看出:雌株各指标在第 1 类中 T_P 的相关指数最大,故选择 T_P 作为第 1 类的抗旱指标;在第 2~5 类均为单独的指标,分别为 T_{UE} 、 T_{LE} 、 T_S 、 L_{SR} ,该指标即为该类的抗旱指标。综上,雌株选择的 5 个抗旱指标分别为 T_P 、 T_{UE} 、 T_{LE} 、 T_S 、 L_{SR} 。

从表 5 可见:雄株各指标在第 1 类中 T_{RPS} 和 D_{CTR} 的相关指数大小相同,但是 T_{RPS} 的变异系数远大于 D_{CTR} 的变异系数,故选择 T_{RPS} 作为第 1 类的抗旱指标;第 2 类和第 4 类均为单独指标,分别为 T_{LE} 、 L_{SR} ,该指标即为该类的抗旱指标;在第 3 类中, T_P 的相关指数最大,选择 T_P 作为抗旱指标。综上,雄株选择的 4 个抗旱指标分别为 T_{RPS} 、 T_{LE} 、 T_P 、 L_{SR} 。

表 4 雌株各指标相关指数及排序

Tab. 4 Correlation indexes and order of parameters in female varieties

分类	指标	相关指数	类中排序
1	T_P	0.731 05	1
	T_L	0.528 95	4
	T_{RPS}	0.586 45	3
	D_{CTR}	0.662 28	2
2	T_{UE}		
3	T_{LE}		
4	T_S		
5	L_{SR}		

表5 雄株各指标相关指数及排序

Tab. 5 Correlation indexes and order of parameters in male varieties

分类	指标	相关指数	类中排序
1	T_{RPS}	0.861 184	1
	D_{CTR}	0.861 184	1
2	T_{LE}		
	T_P	0.506 594	1
3	T_L	0.505 958	2
	T_S	0.310 420	3
	T_{UE}	0.302 131	4
4	L_{SR}		

2.2.2 叶片形态特征与其抗旱性综合评价

以上所筛选的抗旱指标,应用隶属函数值法(公式6、7)对沙棘不同品种抗旱性进行综合评价,结果如表6、7所示。

对于雌株,在选取的指标 T_P 、 T_{UE} 、 T_{LE} 、 T_S 、 L_{SR} 中, T_P 、 T_{UE} 、 T_{LE} 与抗旱性呈正相关,采用隶属函数进行计算; T_S 和 L_{SR} 与抗旱性呈负相关(与表2结果吻合),使用反隶属函数进行计算。然后通过对3项指标的隶属函数值求平均值得出综合评判值,综合评判值越大,控制水分能力越强,据此可对水分控制能力及抗旱能力大小排序,结果见表6。根据综合评判值,6个沙棘品种的抗旱能力大小依次为 $HJ > QMZ > ZG > CY > TY > WMZ$ 。

表6 雌株叶片抗旱指标的隶属函数值及抗旱性综合评价

Tab. 6 Subordinate function values and comprehensive appraisal on drought resistance of female leaves

品种	T_P	T_{UE}	T_{LE}	T_S	L_{SR}	综合评判值	水分控制能力排序
TY	0.252 3	0.229 7	0.315 9	1.000 0	0.668 3	0.493 2	5
QMZ	0.581 1	0.895 3	1.000 0	0.314 2	0.587 7	0.675 7	2
CY	1.000 0	0.686 0	0.577 0	0.000 0	0.880 0	0.628 6	4
WMZ	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.716 7	0.000 0	0.143 3	6
HJ	0.956 8	0.764 5	0.373 4	0.341 2	1.000 0	0.687 2	1
ZG	0.537 9	1.000 0	0.211 5	0.722 3	0.836 7	0.661 7	3

表7 雄株叶片抗旱指标的隶属函数值及抗旱性综合评价

Tab. 7 Subordinate function values and comprehensive appraisal on drought resistance of male leaves

品种	T_{RPS}	T_{LE}	T_P	L_{SR}	综合评判值	水分控制能力排序
QMZ	1.000 0	1.000 0	0.368 4	1.000 0	0.842 1	1
CY	0.324 3	0.529 9	1.000 0	0.207 9	0.515 5	2
WMZ	0.486 5	0.277 8	0.236 4	0.453 3	0.363 5	3
HJ	0.310 8	0.247 9	0.482 0	0.123 2	0.291 0	4
ZG	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	5

对于雄株,筛选出4个抗旱性指标(T_{RPS} 、 T_{LE} 、 T_P 、 L_{SR}),其中 T_{RPS} 和 T_{LE} 、 T_P 与抗旱性呈正相关,采用隶属函数进行计算; L_{SR} 与植物的抗旱性呈负相关(与表3结果吻合),采用反隶属函数进行计算。同样,按照隶属函数值的方法算出综合评判值,得到5个雄性沙棘品种抗旱能力的排序: $QMZ > CY > WMZ > HJ > ZG$ (表7)。

在所选的6个品种中,无论雌雄, QMZ、CY 和 WMZ 的抗旱顺序均为 $QMZ > CY > WMZ$, HJ 的抗旱性均大于 ZG 的抗旱性。在雌株中, HJ 的抗旱性最强,但是在雄株中, HJ 的抗旱性仅大于 ZG, 而比其他3个品种的抗旱性都弱。

3 结论与讨论

生态适应性是生物为了适应生态环境的变化,从形态结构、生理特征等方面作出有利于生存的改变^[30]。本研究所筛选出的叶片解剖学性状均为叶片的旱生结构特征,各树种对抗旱环境的不同生理

反应最终都与叶片的结构有关,能够反映沙棘的抗旱性^[28, 31-34]。通常认为,叶片的角质层越厚,表皮层越发达,栅栏组织越厚且排列紧密,栅海比越大,叶片紧密度越高,抗旱性越强^[35];但是,植物的抗旱性是多指标交互作用的结果,需要进行综合性筛选分析,才能得出相对科学的抗旱性比较结果。不同的植物筛选出的抗旱性评价指标也不尽相同。韩刚等^[25]筛选出上表皮细胞层厚度、叶片厚度和气孔密度3个叶片指标作为评价6种灌木抗旱性的指标;梁文斌等^[36]对28个柞木(*Alnus cremastogyne*)无性系进行抗旱性评价时,选取的是表皮角质层厚度、栅栏组织厚度、栅海比等5项叶片结构指标。本研究按照分层聚类和相关指数对6种沙棘雌雄株的叶片解剖结构进行抗旱指标筛选,雌株筛选出栅栏组织厚度、上表皮厚度、下表皮厚度、海绵组织厚度、叶片组织结构疏松度5项抗旱指标;雄株筛选出的抗旱指标为:栅海比、下表皮厚度、栅栏组织厚度、叶片组织结构疏松度4项指标。结果表明,在抗旱指标的

筛选中,雌雄株的评价指标稍有不同,但是下表皮厚度、海绵组织厚度、叶片组织结构疏松度3个指标在沙棘雌雄株中均是评价其抗旱性的重要指标。

目前关于沙棘抗旱性的研究很多,但多是不同品种间的比较^[6,9-10],或是同一品种雌雄株间的比较^[24],本研究选取了6个沙棘品种,分别对其雌雄品种间的抗旱性进行比较。结果显示,无论雌雄,所有品种叶片的栅海比均大于1,最高达1.8,呈现明显的背腹异面叶特征,且每个指标在不同品种间也都存在着显著差异,各指标均表现出明显的抗旱性特征。高丽等^[24]已证明中国沙棘的雌雄株的抗旱性为雌株大于雄株,本研究中,所选的6个品种的雌雄株的抗旱性并不一致,这一结果进一步证明沙棘的抗旱性不仅与品种有关,还与性别有一定的关系。

近几年,在内蒙古、山西、陕西、辽宁等地受到沙棘木蠹蛾(*Holcocerus hippophaecolus* Hua, Chou, Fang et Chen)的严重危害,致使当地沙棘大面积死亡^[37-39]。王志政等^[40-41]对不同沙棘品种的抗虫性进行了研究,得到6种沙棘的抗虫顺序(不分雌雄)依次为太阳>丘依斯克×中国沙棘>楚伊>乌兰格木×中国沙棘>浑金>中国沙棘。本研究基于其得出的不同抗虫等级结果进行选材,试图探索抗虫性与抗旱性的关系。结果显示,雄株的抗旱顺序为丘依斯克×中国沙棘>楚伊>乌兰格木×中国沙棘>浑金>中国沙棘,雄株的抗旱顺序与对应沙棘品种的抗虫顺序一致,而在雌株中抗旱顺序与抗虫顺序则无明显的关系。这一结果在一定程度上反映了沙棘木蠹蛾容易侵害树势衰弱的沙棘^[42-43]。一般情况下,抗旱性越强,在同一生长环境和立地条件下,其树势越好,对病虫害的抗性也相对越强,因此,沙棘良种的选育目标可以综合考虑品种的抗虫性和抗旱性,以达到生态改善和经济效益的结合。建议对不同性别沙棘品种的抗虫性进行深入的研究,以便为选种育种提供更详细、更科学的依据。

另外,叶片的解剖结构特征虽是反映植物抗旱性的重要方面,但抗旱性是对干旱长期适应的一种复杂的综合遗传特性。本研究只从沙棘叶片的解剖结构特征角度对其抗旱性进行初步研究,客观评价还需要综合考虑其形态解剖结构特征、内部的多种生理生化活动及生长状况等多方面因素。

参 考 文 献

- [1] 陈学林,廉永善.沙棘属植物的分布格局及其成因[J].沙棘,2007,20(4):1-5.
- [2] 廉永善.沙棘属的新发现[J].植物分类学报,1988,26(3):235-237.
- [3] 陈学林,马瑞君,孙坤,等.中国沙棘属种质资源及其生境类型的研究[J].西北植物学报,2003,23(3):451-455.
- [4] ROUSI A. The genus *Hippophae* L.: A taxonomic study annales [J]. *Botanic Fen*, 1971, 8: 177-277.
- [5] LI T S C, SCHROEDER W R. Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): A multipurpose plant [J]. *HortTechnology*, 1996, 6(4): 370-380.
- [6] 李多伟,王义潮,晋坤贞.中国沙棘营养器官结构特征及其与生境关系的研究[J].西北大学学报:自然科学版,1996,26(3):247-250.
- [7] 李代琼,梁一民,黄瑾,等.沙棘的形态解剖学特性研究[J].西北植物学报,2003,23(7):1224-1230.
- [8] 吴林,霍焰,李亚东,等.沙棘叶片组织结构观察与抗旱性的关系研究[J].吉林农业大学学报,2003,25(4):259-263.
- [9] 李晓燕,王林和,李连国,等.沙棘叶片组织解剖结构与其生态适应性研究[J].干旱区资源与环境,2006,20(5):209-212.
- [10] 何士敏,汪建华,秦家顺.几种沙棘叶片组织结构特点和抗旱性比较[J].林业科技开发,2009,23(1):16-19.
- [11] KALIA R K, SINGH R, RAI M K, et al. Biotechnological interventions in sea buckthorn (*Hippophae* L.): Current status and future prospects [J]. *Trees-Structure and Function*, 2011, 25(4):559-575.
- [12] 孟庆杰,王全光,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.
- [13] DARWIN C. *The different forms of flowers on plants of the same species* [M]. London: John Murray, 1877.
- [14] 郭学民,高忠明,刘振林,等.美国红栲雄株和雌株茎导管分子的形态解剖比较[J].林业科学,2010,46(8):51-55.
- [15] 杨赵平,刘琴,李志军.胡杨雌雄株叶片的比较解剖学研究[J].西北植物学报,2011,31(1):79-83.
- [16] ALLEN G A, ANTOS J A. Sex ratio variation in the dioecious shrub *Oemleria cerasiformis* [J]. *The American Naturalist*, 1993, 141(4):537-553.
- [17] BULLOCK S H, BAWA K S. Sexual dimorphism and the annual flowering pattern in *Jacaratia dolichaula* (D. Smith) Woodson (Caricaceae) in a Costa Rican rain forest [J]. *Ecology*, 1981, 62(6):1494-1504.
- [18] DELPH L F. Sex-differential resource allocation patterns in the subdioecious shrub *Hebe subalpina* [J]. *Ecology*, 1990, 71(4):1342-1351.
- [19] GROSS K L, SOULE J D. Differences in biomass allocation to reproductive and vegetative structures of male and female plants of a dioecious, perennial herb, *Silene alba* (Miller) Krause [J]. *American Journal of Botany*, 1981, 68(6):801-807.
- [20] SAKAI A K, SHARIK T L. Clonal growth of male and female bigtooth aspen (*Populus grandidentata*) [J]. *Ecology*, 1988, 69(6):2031-2033.
- [21] THOMAS S C, LAFRANKIE J V. Sex, size and interyear variation in flowering among dioecious trees of the Malayan rain forest [J]. *Ecology*, 1993, 74(5):1529-1537.
- [22] LEAH S D, CANDACE G. Stage-dependent patterns of drought tolerance and gas exchange vary between sexes in the alpine willow, *Salix glauca* [J]. *Oecologia*, 2007, 153(1):1-9.
- [23] ISZKULO G, JASIŃSKA A K, GIERTYCH M J, et al. Do secondary sexual dimorphism and female intolerance to drought

- influence the sex ratio and extinction risk of *Taxus baccata*? [J]. *Plant Ecology* 2009, 200(2): 229–240.
- [24] 高丽, 杨劼, 刘瑞香. 不同土壤水分条件下中国沙棘雌雄株叶片形态结构及生理生化特征[J]. *应用生态学报* 2010, 21(9): 2201–2208.
- [25] 韩刚, 李少雄, 徐鹏, 等. 6种灌木叶片解剖结构的抗旱性分析[J]. *西北林学院学报* 2006, 21(4): 43–46.
- [26] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 2版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2000: 37–52.
- [27] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 2版. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [28] 李正理. 旱生植物的形态和结构[J]. *生物学通报* 1981(4): 9–12.
- [29] LEVITT J. *Responses of plants to environmental stresses* [M]. New York: Academic Press, 1980: 63–167.
- [30] 王伯荪, 李明光, 彭少麟. 植物种群学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1995: 85–131.
- [31] 郝瑞. 西伯利亚杏、普通杏、东北杏抗旱性的研究[J]. *北方园艺* 1990(5–6): 39–40.
- [32] 李晓燕. 葡萄叶片组织结构与抗旱性关系的研究[J]. *内蒙古农牧学院学报* 1994, 15(3): 30–32.
- [33] QUARRIE S A. Effects of abscisic acid and water stress on development and morphology of wheat [J]. *Environmental and Experimental Botany* 1977, 28: 192–303.
- [34] 梅秀英. 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.
- [35] 刘蕊. 不同椰子叶片解剖结构的观察[J]. *西南农业学报*, 2011, 24(4): 1425–1430.
- [36] 梁文斌, 李志辉, 许仲坤, 等. 桉木无性系叶片解剖结构特征与其耐寒性研究[J]. *中南林业科技大学学报* 2010, 30(2): 16–22.
- [37] 骆有庆, 路常宽, 许志春. 暴发性新害虫沙棘木蠹蛾的控制技术[J]. *国际沙棘研究与开发* 2003, 1(1): 31–33.
- [38] 路常宽. 沙棘木蠹蛾灾害监测和综合管理策略研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [39] 宗世祥. 沙棘木蠹蛾生物生态学特性的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [40] 王志政, 温俊宝, 姚国龙, 等. 沙棘木蠹蛾对不同树种的产卵选择[J]. *北京林业大学学报* 2010, 32(4): 131–135.
- [41] 王志政. 不同树种(品种)对沙棘木蠹蛾的抗性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [42] 宗世祥, 贾峰勇, 骆有庆, 等. 沙棘木蠹蛾危害特性与种群数量的时空动态研究[J]. *北京林业大学学报* 2005, 27(1): 70–74.
- [43] 骆有庆, 宗世祥, 许志春, 等. 沙棘木蠹蛾综合控制技术研究[J]. *林业科学* 2007, 43(11): 146–150.

(责任编辑 董晓燕)

本刊 2013 年第 1 期要目预告

- 田 昕等: 基于 ERS-1/2 和 Envisat ASAR 数据的大区域森林制图研究
- 姜立春等: 落叶松和樟子松木材基本密度的变异及早期选择
- 董灵波等: 天然林林分空间结构综合指数的研究
- 赵 滢等: 热激处理对蝴蝶兰组培褐变的抑制及其生理机制
- 毛彦科等: 高温诱导杜仲 2n 花粉最佳处理条件研究
- 岳书平等: 降雨侵蚀力空间插值不确定性及其对侵蚀模拟结果的影响
- 潘 翔等: 毛白杨抗坏血酸过氧化物酶基因 *PtAPX2* 的克隆表达及分析
- 郭庆启等: 落叶松松塔多酚成分、抗氧化能力与海拔高度的相关性研究
- 赵 娟等: 蒙古栎幼苗光合作用以及叶绿素荧光对温度和降水交互作用的响应