

荒漠植物蒙古扁桃水分生理特征

斯琴巴特尔 秀敏

(内蒙古师范大学生命科学与技术学院, 呼和浩特 010022)

摘要 蒙古扁桃 (*Prunus mongolica*) 是荒漠区和荒漠草原的水土保持植物和景观植物, 是蒙古高原古老残遗植物, 对其深入研究对于了解蒙古高原植被演替以及对当地生态环境的稳定和恢复有着重要意义。该实验采用 PV 技术和自然脱水法探讨了蒙古扁桃的水分生理特性。结果表明: 在自然状态下, 蒙古扁桃幼苗叶片的相对含水量为 69%, 饱和含水量为 117%, 临界饱和亏为 48%, 水势为 -0.85 MPa。经 5% PEG-Hoagland (-0.46 MPa) 干旱胁迫处理 3 d 后, 其相对含水量、临界含水量和水势分别下降到 48%、39% 和 -1.97 MPa, 而饱和含水量和束缚水与自由水比值分别增加到 187% 和 11.94。对失水率分析的结果表明: 在正常水分状态下, 蒙古扁桃幼苗经 102 h 自然脱水后失水达到平衡, 而经过干旱胁迫处理 3 d 后, 其失水率曲线斜率变小, 失水过程明显减缓, 失水最终达到平衡的时间延长到 152 h, 其保水能力显著提高。将旱生植物蒙古扁桃的失水率曲线与中旱生植物长柄扁桃 (*P. pedunculata*) 的失水率曲线相比较发现, 蒙古扁桃的耐脱水能力明显强于中旱生植物长柄扁桃。PV 曲线 (Pressure-volume curve) 分析结果表明: 蒙古扁桃饱和含水量渗透势 ($\Psi\pi^{100}$) 和零膨压渗透势 ($\Psi\pi^0$) 很低, 分别为 -2.49 MPa 和 -3.11 MPa, 而 $\Psi\pi^{100}$ 和 $\Psi\pi^0$ 差值较大 (0.62 MPa) 表明其维持膨压的能力很强。其细胞壁弹性模量值低 (4.18 MPa) 进一步表明蒙古扁桃具有很强的膨压调节能力。蒙古扁桃幼苗失去膨压时的渗透含水量 ($ROWC^{up}$) 为 80%, 这是其细胞壁特性所决定的渗透调节能力的基础。蒙古扁桃质外体含水量 (AWC , %) 较高 (79%), 因而具有较高的束缚水与自由水比值 (7.76), 这是其耐脱水性的生理基础。总之, 蒙古扁桃叶水势、渗透势低有利于其根部对深层土壤水分的吸收, 而较高的束缚水与自由水比值及较低的细胞壁弹性模量是其耐脱水的生理基础。

关键词 蒙古扁桃 荒漠植物 濒危植物 水分生理

HYDROLOGICAL CHARACTERISTIC OF THE DESERT PLANT *PRUNUS MONGOLICA* ON THE MONGOLIAN PLATEAU OF CHINA

Siqinbateer and XIU Min

College of life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China

Abstract *Aims* *Prunus mongolica* is a xeric shrub, a landscape plant, a water and soil conservation plant, and an ancient species in the desert and desert steppe of the Mongolian Plateau, China. It tolerates extreme aridity and poor soil, growing strongly in desert where annual rainfall is < 200 mm and annual evaporation is 3 400–4 000 mm. Study of *P. mongolica* is useful for understanding plant succession on the Mongolian Plateau and for sustaining and restoring the local ecosystem.

Methods The Abbe refractometer method, the natural dehydration method and the PV technique were used to analyze the hydrological characteristic of *P. mongolica*.

Important findings The relative water content, saturation water content, critical saturation deficit and water potential of *P. mongolica* seedling leaves were 69%, 117%, 48% and -0.85 MPa, respectively. The relative water content, critical water content and leaf water potential of *P. mongolica* seedlings exposed to drought stress decreased to 48%, 39% and -1.97 MPa, respectively, but the saturation water content and the ratio of bound water/free water increased to 187% and 11.94, respectively. The natural dehydration experiment indicated that *P. mongolica* seedlings reached equilibrium after 102 h in normal condition, but the dehydration rate decreased and the dehydration equilibrium time was delayed after 3 d of drought stress. This proved that the water-holding ability of *P. mongolica* increased after drought stress. In comparing the dehydration rates of the xerophytic *P. mongolica* and the mesophytic *P. pedunculata*, we discovered that the dehydration tolerance capacity of *P. mongolica* was higher than that of *P. pedunculata*. Analysis of PV curve showed that osmotic potential ($\Psi\pi^{100}$) of water saturation and osmotic potential ($\Psi\pi^0$) at turgor loss point of

P. mongolica seedling were -2.49 MPa and -3.11 MPa, respectively. The fact that the difference of $\Psi\pi^{100}$ and $\Psi\pi^0$ was very large and the values very low showed that *P. mongolica* had strong ability to regulate turgor pressure. The ratio of bound water/free water was relatively high (7.76), and the modulus elasticity of cell wall was 4.18 MPa. The low leaf water potential and low osmotic potential of *P. mongolica* were beneficial for absorption of water from soil depths. Our results indicated that *P. mongolica* was a strong xerophyte in terms of hydrology. Its high ratio of bound water and free water, low osmotic potential at saturation water content, osmotic potential at turgor loss point and low modulus elasticity of cell wall were the physiological fundamentals of its dehydration tolerance.

Key words *Prunus mongolica*, desert plant, endangered plant, hydrology

荒漠化是威胁人类社会可持续发展的最严重的环境问题之一。灌木是沙漠生态系统中最重要和最活跃的成分,对稳定和保护生态环境及支持草地畜牧业经济具有极其重要的地位和意义(张新时, 1994)。Liu 等(2003)对浑善达克沙地 104 种植物水分生理生态特性研究发现,灌木根系在土壤中分布最深,其叶片渗透势最低,表现出对干旱环境很强的适应性。蒙古扁桃(*Prunus mongolica*)是蒙古高原的阿拉善荒漠种(赵一之, 1995),主要分布于我国的内蒙古西部、甘肃、宁夏和新疆的荒漠区和荒漠草原,是这些地区的景观植物和水土保持植物,可以构成建群种(马毓泉, 1994)。由于环境的进一步恶化和人类干扰的加剧,其种群数量锐减,成为国家三级保护濒危植物(傅立国, 1992)。蒙古扁桃极耐干旱和贫瘠,在年降雨量不足 200 mm、七八级大风每年吹袭 80~100 d 的恶劣条件下仍能顽强生长(李爱平等, 2004)。水分是威胁荒漠植物生存和繁衍的第一生态要素。水分状况是植物忍耐干旱胁迫的指标(Beadle *et al.*, 1993)。于云江等(2003)研究表明,风沙流胁迫可使荒漠植物的净光合速率下降,蒸腾速率升高,从而导致水分利用率下降。蒙古扁桃是通过什么样的机制来适应干旱少雨风沙大的荒漠环境的呢?本研究利用 PV 技术分析蒙古扁桃的水分状况,旨在探讨蒙古扁桃的水分生理学特性,为其种质资源的保护和荒漠区生态恢复及保护提供科学依据。

1 蒙古扁桃自然分布区概况

蒙古扁桃是蒙古高原古老残遗植物之一,其分布北界在蒙古国南部的戈壁-阿尔泰山,南界在贺兰山南段至河西走廊中部一带,东界在阴山山脉的九峰山,西界大体与阿拉善荒漠西界相一致(赵一之, 1995),其地理坐标大体为 $39^{\circ}12' \sim 44^{\circ}10' N$, $97^{\circ}10' \sim 110^{\circ}20' E$ (图 1),生于海拔 900~2 400 m 的丘陵坡麓、石质山坡及干河床上。分布区年降雨量

50~500 mm,年蒸发量 3 400~4 000 mm, $\geq 10^{\circ}C$ 的年活动积温为 1 900~3 000 $^{\circ}C$,太阳总辐射量 6 485~6 987 $MJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ (马毓泉, 1994)极端最低气温 $-35.6^{\circ}C$ 极端最高气温 $39.3^{\circ}C$ 。土层薄,一般不超过 50 cm,土质属棕钙土、灰棕荒漠土(李爱平等, 2004),土壤有机质含量 0.49%~0.88%,每 100 g 土壤有机质中含全氮 31~45 mg、全钾 1 990~2 030 mg、全磷 31~45 mg(王国光, 1994),主要伴生植物有旱榆(*Ulmus glaucescens*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、锦鸡儿(*Caragana* spp.)和珍珠猪毛菜(*Salsola passerina*)。

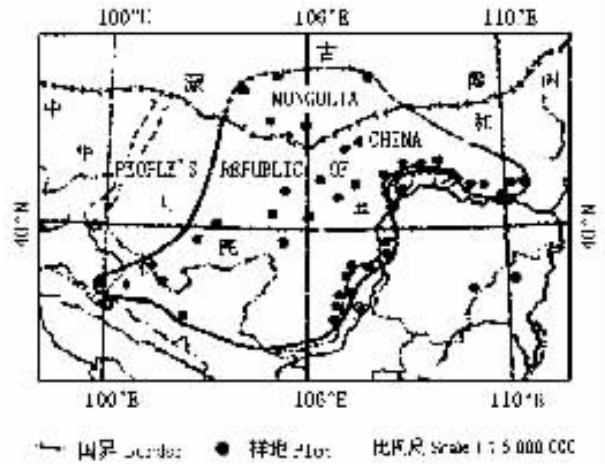


图 1 蒙古扁桃的分布区(赵一之, 1995)

Fig. 1 Distribution areas of *Prunus mongolica*

2 材料和方法

实验用蒙古扁桃种子于 2003 年 8 月采自内蒙古巴彦淖尔市磴口县蒙古扁桃自然居群。去掉其种子外果皮,用 0.1% $HgCl_2$ 消毒 10 min,用蒸馏水清洗,浸泡 12 h 后,植入盛有湿沙的培养盘内,置于 $20 \sim 25^{\circ}C$ 实验室,自然光照,每天定时定量浇水。待幼苗长到约 15 cm 时测定各项水分生理指标的同时,用 5% PEG-6000-Hoagland 培养液(-0.46 MPa)进行模拟干旱胁迫处理 3 d,探讨干旱胁迫对其水分

生理特性的影响。

2.1 蒙古扁桃水分状况分析

用阿贝折射仪法测定自由水和束缚水;用压力室法测定水势;用称重法测定相对含水量和饱和亏(李合生,2000)。

2.2 蒙古扁桃持水力分析

采用自然脱水法测定持水力(张力君等,2003)。为了了解不同生态型植物在持水力上的固有差异,本实验还测定了与蒙古扁桃同一属的中旱生植物长柄扁桃(*P. pedunculata*)幼苗的持水力。

剪下长势良好的带叶柄的叶片,立即用1/1 000扭力天平称重,记为 W_0 (g),相应时间记为 T_0 (h),迅速带回实验室用电子分析天平称重。称重时间间隔随失水率的变化而定,前密后疏。叶片称重依次记为 W_1, W_2, \dots, W_n ;对应时间记为 T_1, T_2, \dots, T_n 。当自然脱水达到平衡时转入85℃烘箱烘干至恒重,称干重。每次实验期间实验室温度和相对湿度等条件尽量一致。

失水率(离体叶片依时间变化累计丢失水分占叶片含水量的百分率)用公式 $D(\%) = (W_0 - W_n) / (W_0 - W_d) \times 100$ 计算,式中: D 为失水率(%), W_0 为初始鲜重, W_n 为 T_n 时间的鲜重, W_d 为干重。

2.3 蒙古扁桃 PV 曲线分析

PV曲线(Pressure-volume curve)测定用压力室法(王万里,1984;李吉跃,1989)。从蒙古扁桃植株上选取发育良好的小枝,截取10 cm左右的枝梢,用电子分析天平称其鲜重,插入盛有清水的广口瓶内,装入暗桶,使其在阴暗高湿的条件下经24 h充分饱和吸水后,再称其饱和鲜重。立即装入ZLZ-5型压力室(兰州大学制造),在20~25℃的室温下用Ham-

mel逐步升压法测定。将压出的水液用塞有吸水纸的小塑料套管收集,通过吸水前后重量之差算出压出的水量。在测定过程中,每隔15 min更换小管。测毕,将样品取出压力室,在105℃杀青15 min,在80℃继续烘干24 h,称干重。把超压从枝条压出水量的累计数(V_e)与测定的平衡压值一一对应,以 V_e 为横坐标、平衡压倒数 $1/P$ 为纵坐标绘制PV曲线。根据PV曲线求出小枝条的 $\Psi\pi^0$ 和 $\Psi\pi^{100}$,相对水分亏缺、束缚水含量(V_a)与束缚水与自由水比值(V_a/V_s)、质外体含水量、零膨压时的渗透含水量(即为失去膨压时的渗透水相对含量)、弹性模量等各项水分生理指标。各项测定均重复8次,利用SPSS10.0软件进行方差分析。

3 结果

3.1 蒙古扁桃幼苗水分状况分析

蒙古扁桃幼苗在正常的水分状况下其相对含水量、自由水含量、束缚水含量和叶片水势(表1)分别为69%、29%、40%和-0.85 MPa。而用5% PEG-Hoagland(-0.46 MPa)模拟干旱胁迫处理3 d后,其相对含水量、自由水含量和叶片水势分别下降了30%、88%和14%,而束缚水含量增加了5%,束缚水/自由水比值增加了8.98倍。在正常水分状况下,蒙古扁桃幼苗叶片自然饱和亏为14%,临界饱和亏为48%。而用5% PEG-Hoagland(-0.46 MPa)干旱胁迫处理3 d后,蒙古扁桃叶片自然饱和亏和临界饱和亏分别增加到46%和61%。对干旱胁迫处理组各项水分状况指标实验数据与对照组实验数据进行方差分析,结果均达到显著差异($p < 0.05$)或极显著差异($p < 0.01$)。

3.2 蒙古扁桃幼苗持水力分析

表1 蒙古扁桃幼苗叶片水分状况

Table 1 Water condition in seedling leaves of *Prunus mongolica*

测定项目 Items	对照 Control	处理 Treatment	测定项目 Items	对照 Control	处理 Treatment
含水量 Water content (%)	68.70 ± 2.34	48.45 ± 2.04**	相对含水量 Relative water content (%)	85.80 ± 5.63	53.58 ± 2.87**
自由水含量 Free water content (%)	29.44 ± 1.15	3.74 ± 0.11**	饱和含水量 Saturation water content (%)	116.75 ± 6.66	187.13 ± 6.52*
束缚水含量 Bound water content (%)	39.26 ± 2.37	44.70 ± 1.97**	临界含水量 Critical water content (%)	51.88 ± 3.24	38.78 ± 1.73*
束缚水/自由水 Bound water/free water	1.33 ± 0.22	11.94 ± 1.82**	自然饱和亏 Saturation deficit (%)	14.20 ± 1.36	46.42 ± 3.58**
水势 Water potential (MPa)	-0.85 ± 0.29	-1.97 ± 0.61*	临界饱和亏 Critical saturation deficit (%)	48.12 ± 2.96	61.22 ± 5.37*

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$

蒙古扁桃幼苗自然脱水动态过程如图 2 所示。在正常水分状况下,蒙古扁桃幼苗枝条经过 2、24、48 和 102 h 自然风干后,水分亏缺率分别达到 13.00%、42.00%、68.04% 和 86.00%;而用 5% PEG-Hoagland (-0.46 MPa) 干旱胁迫处理 3 d 后,蒙古扁桃幼苗同期水分亏缺率分别为 5%、29%、51% 和 67%。最大水分亏缺率比对照组下降了 22.70%,而且达到恒重所需时间由对照组的 102 h 延长到 152 h,失水率曲线斜率变小。图 3 是旱生植物蒙古扁桃幼苗持水力与中旱生植物长柄扁桃的比较。长柄扁桃自然脱水 41 h 后达到平衡,而蒙古扁桃脱水 95 h 后逐步达到平衡,并且长柄扁桃失水率曲线斜率远远大于蒙古扁桃的,表明前者的自然脱水明显快于后者。

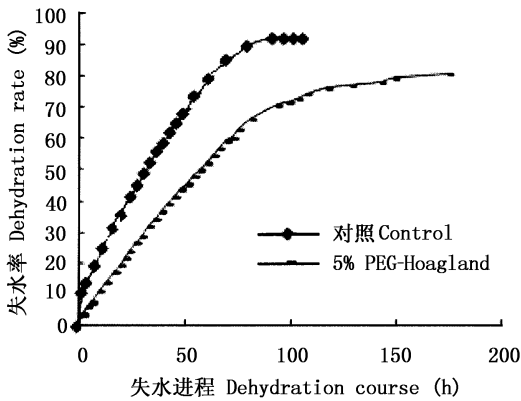


图 2 蒙古扁桃幼苗失水率曲线

Fig.2 The curve of dehydration in seedling of *Prunus mongolica*

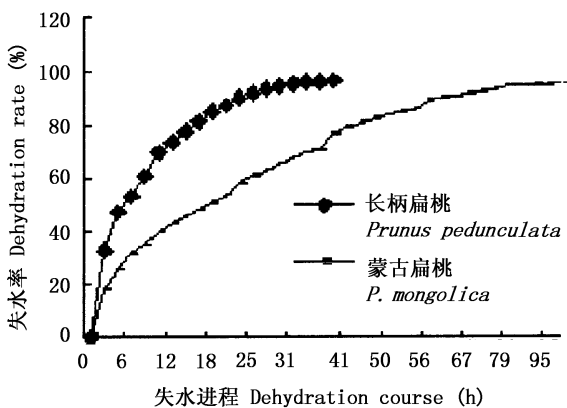


图 3 长柄扁桃和蒙古扁桃叶片失水率的比较

Fig.3 Comparison of dehydration rate in leaves of *Prunus mongolica* and *P. pedunculata*

3.3 蒙古扁桃幼苗 PV 曲线分析

蒙古扁桃 PV 曲线由失去膨压前的双曲线(通过各测点串联求得)和失去膨压以后的直线部分组

成,其直线的回归方程为: $y = -2.39x - 2.49$, $r = 0.997$ 。通过 PV 曲线求得的蒙古扁桃幼苗小枝各项水分状况参数见表 2。表 2 中, $\Psi\pi^{100}$ 为饱和含水量时的最大渗透势。渗透势是溶液的依数特性之一,因此 $\Psi\pi^{100}$ 表示植物某生长阶段细胞中可溶性物质可能达到的浓度。而 $\Psi\pi^0$ 表示零膨压点渗透势,其值越低表明维持膨压的能力越强。 RWC^{tp} (Relative water content at turgor loss point) 为零膨压时的相对含水量, AWC (Apoplast water content) 为质外体水相对含量,是指植物细胞原生质体之外的水分,在溶质含量不变的条件下, AWC 越大,组织渗透势越低,植物吸水能力越强。 $ROWC^{tp}$ (Relative osmotic water content at turgor loss point) 为零膨压时的渗透水相对含量,是指发生初始质壁分离时的原生质体含水量。 ϵ_{max} 为细胞的最大弹性模量 (Modulus of elasticity), 反映出细胞壁在膨压作用下可进行弹性伸缩范围的大小,富于弹性伸缩能力的细胞壁与僵硬的细胞壁相比,具有较小的 ϵ_{max} 值,当细胞因干旱脱水而使其相对含水量降低时,其膨压下降较缓慢。由表 2 可知,蒙古扁桃零膨压渗透势,即初始质壁分离时的整体渗透势 ($\Psi\pi^0$) 为 -3.11 MPa,充分吸水饱和含水量渗透势 ($\Psi\pi^{100}$) 为 -2.49 MPa,蒙古扁桃 $\Psi\pi^{100} - \Psi\pi^0$ 差值较大,为 0.62,其 ϵ_{max} 值为 4.18 MPa。与此同时,蒙古扁桃 RWC^{tp} 较低,而 RWC^{tp} 、 $ROWC^{tp}$ 、 AWC 、 V_a/V_s 均较高,这一结果与用传统的阿贝折射仪法测得的结果基本吻合。

4 讨论

本研究阐明,蒙古扁桃幼苗相对水分含量由于环境水分状况的不同而有较大的变动性(48% ~ 86%),表明其具有较强的耐脱水能力。蒙古扁桃这种耐脱水能力基于其较高的束缚水含量。在正常水分状况下,蒙古扁桃幼苗的束缚水含量为 39%,自由水含量为 29%;而经干旱胁迫处理后,束缚水含量可达 45%,自由水含量只有 4%。这对于极端干旱的荒漠植物以微弱的代谢强度适应干旱环境是有积极意义的。Richard (1981) 利用 PV 技术证明:束缚水含量越高,束缚水与自由水比值越大,植物抗旱性越强。王继和等(2000)研究表明,荒漠植物绵刺 (*Potania mongolica*) 叶组织水势较低,临界饱和亏较大,吸水能力较强,即使持续干旱而叶片枯黄脱落,复水 2 d 之内仍能萌芽,4 d 能长出 2.5 cm 的新梢,表明荒漠植物耐脱水、复水快,能充分利用有限的水分。

表 2 蒙古扁桃 PV 曲线水分状况参数
Table 2 The main water parameters of PV curve in *Prunus mongolica*

测定项目 Items	Ψ_{π}^{100} (-MPa)	Ψ_{π}^0 (-MPa)	$\Psi_{\pi}^{100} - \Psi_{\pi}^0$ (MPa)	V_a/V_s	RWC^{1p} (%)	AWC (%)	$ROWC^{1p}$ (%)	ϵ_{max} (MPa)
水分状况参数 Water parameters	2.49 ± 0.32	3.11 ± 0.25	0.62 ± 0.11	7.76 ± 1.05	89.52 ± 4.07	79.30 ± 4.58	80.08 ± 3.98	4.18 ± 0.13

水分亏缺是直观表示植物水分亏缺程度的生理指标。自然饱和亏愈大,说明水分亏缺愈严重,临界饱和和亏越大,说明抗脱水能力越强。蒙古扁桃幼苗自然饱和和和临界饱和和在正常水分条件下并不大,分别为 14% 和 46%,但经过干旱胁迫处理后,均有较大幅度的增加,可达到 46% 和 61%;叶水势也相应地由 -0.85 MPa 下降到 -1.97 MPa,证明经干旱适应其抗脱水能力大大提高了。从荒漠植物裸果木 (*Gymnocarpus przewalskii*)、矮沙冬青 (*Ammopiptanthus nanus*) 和绵刺可以观察到类似的结果(王理德等,1995)。持水力(Moisture-retaining power)分析结果(图 2),在正常水分状况下,蒙古扁桃幼苗失水率曲线斜率大、失水平衡时间短,但经干旱胁迫处理后,其失水率曲线斜率变小,失水平衡时间变长。这进一步表明,经干旱胁迫处理后蒙古扁桃幼苗的抗脱水能力提高了。与其同科、同属的中旱生植物长柄扁桃的持水力比较(图 3),失水率曲线斜率和平衡时间等特性充分显示出旱生植物蒙古扁桃的耐脱水能力明显强于中旱生植物长柄扁桃。

PV 技术是目前在沙生植物水分生理特性中运用最多的研究手段之一。在通过 PV 曲线所获得的一系列水分参数中, Ψ_{π}^{100} 是难以用其它方法导出的,它是最稳定反映叶片抗旱性的指标(Tyree & Hammel,1972)。 Ψ_{π}^{100} 值越低,植物叶片在干旱胁迫下保持正常膨压的能力越强(Cheung *et al.*,1975)。蒙古扁桃 Ψ_{π}^{100} 值为 -2.49 MPa,低于多数典型的沙生灌木的 Ψ_{π}^{100} 值(-1.4 ~ -2.4 MPa),而与强旱生植物四合木(*Tetraena mongolica*)和霸王(*Zygophyllum xanthoxylon*)的 Ψ_{π}^{100} 值(-2.58 和 -3.26 MPa)相接近。蒙古扁桃 Ψ_{π}^0 也较低,为 -3.11 MPa, Ψ_{π}^{100} 和 Ψ_{π}^0 差值较大(0.62 MPa),证明其维持正常膨压的能力较强。蒙古扁桃的 ϵ_{max} 值较低(4.18)可以进一步证实这一结论。蒙古扁桃幼苗失去膨压时的 $ROWC^{1p}$ 为 80.08%。沙生植物油蒿(*Artemisia ordosica*)和柠条(*Caragana korshinskii*)的 $ROWC^{1p}$ 值分别为 81.3% ~ 82.5% 和 79.3% ~ 82.9%(冯金朝,1995),此结果与我们的结果相近。较高的 $ROWC^{1p}$

值应归功于由细胞壁特性所决定的渗透调节能力(董学军,1998)。本实验中,蒙古扁桃 AWC 为 79.30% 相应的 V_a/V_s 为 7.76。在红砂(*Reaumuria soongorica*)和四合木等强旱生小灌木的研究中可以看到类似的结果(李骁等,2005)。以往文献称蒙古扁桃为旱生植物(马毓泉,1994)。本研究结果表明:在一系列水分生理参数上,蒙古扁桃更接近于强旱生植物,表现在它具有很强的抗脱水能力和维持膨压能力,其生理基础是细胞束缚水与自由水比值高、渗透调节能力和细胞壁弹性调节能力强。

参 考 文 献

- Beadle CL, Ludlow MM, Honeysett JL (1993). Water relations. In: Hall EO, Scurlock JMO, Bolhar-Norderkampf HR eds. *Photosynthesis and Production in a Changing Environment. A field and Laboratory Manual*. Chapman & Hall, London. 113 - 128.
- Cheung YNS, Tyree MT, Dainty J (1975). Water relations parameters on single leaves obtained in a pressure bomb and some ecological interpretations. *Canadian Journal of Botany*, 53, 1342 - 1346.
- Dong XJ (董学军) (1998). Experimental measurement of the water relations parameters of nine shrubs and some ecological interpretations. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 40, 657 - 664. (in Chinese with English abstract)
- Fu LG (傅立国) (1992). *China Plant Red Data Book — Rare and Endangered Plants*, Vol. 1. (中国植物红皮书——稀有濒危植物,第一册). Science Press, Beijing. 554. (in Chinese)
- Feng JZ (冯金朝) (1995). Water characteristic curves and water relations of desert plants. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 15, 222 - 226. (in Chinese with English abstract)
- Li AP (李爱平), Wang XJ (王晓江), Zhang JG (张纪钢), Yang M (杨明) (2004). Biological characteristics and eco-economic value of *Prunus mongolica* Maxim. *Inner Mongolia Forestry Science and Technology* (内蒙古林业科技), (1), 10 - 13. (in Chinese with English abstract)
- Li HS (李合生) (2000). *Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment* (植物生理生化实验原理与技术). Higher Education Press, Beijing. (in Chinese)
- Li JY (李吉跃) (1989). The application of PV technique in research of drought resistance in *Pinus tabulaeformis* and *Platycladus orientalis* seedlings. *Journal of Beijing Forestry University* (北京

- 林业大学学报), 11(1), 3 - 11. (in Chinese with English abstract)
- Li X (李骁), Wang YC (王迎春), Zheng R (征荣) (2005). Water parameters of xeric shrubs in West Erdos region (I). *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 25, 581 - 586. (in Chinese with English abstract)
- Liu MZ, Jiang GM, Li YG, Niu SL(2003). Leaf osmotic potential of 104 plant species in relation to habitats and plant functional types in Hunshandak Sandland, Inner Mongolia, China. *Trees*, 17, 554 - 560.
- Ma YQ (马毓泉) (1994). *Flora Intramongolica*, Vol. 3 2nd edn (内蒙古植物志, 3 卷, 第二版). Inner Mongolia People Press, Huhhot, 180. (in Chinese)
- Richard H (1981). *Plant and Their Atmospheric Environment*. Academic Press, New York, 263 - 272.
- Tyree MT, Hammel HT (1972). The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure-bomb technique. *Journal of Experimental Botany*, 23, 267 - 282.
- Wang GG (王国光) (1994). *Inner Mongolia Soil* (内蒙古土壤). Science Press, Beijing, 51. (in Chinese)
- Wang JH (王继和), Wu CR (吴春荣), Ma QL (马全林) (2000). Studies on eco-physiological characteristics of endangered plant *Potaninia mongolica* Maxim. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 20, 397 - 403. (in Chinese with English abstract)
- Wang LD (王理德), Liu SL (刘生龙), Gao ZH (高志海), Zhong SJ (仲述军) (1995). An analysis on water physiological characteristics of five species of rare plant. *Gansu Forestry Science and Technology* (甘肃林业科技), (2), 1 - 5. (in Chinese with English abstract)
- Wang WL (王万里) (1984). The application of pressure chamber in studying plant water relations. *Plant Physiology Communications* (植物生理学通讯), (3), 52 - 57. (in Chinese)
- Yu YJ (于云江), Shi PJ (史培军), Lu CX (鲁春霞), Liu JQ (刘家琼) (2003). Response of the eco-physiological characteristics of some plants under blown sand. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 27, 53 - 58. (in Chinese with English abstract)
- Zhang LJ (张力君), Wang LH (王林和), Yi J (易津) (2003). Analysis on water retention of 8 xerophyte shrubs including *Ceratoides* spp. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 17, 122 - 128. (in Chinese with English abstract)
- Zhang XS (张新时) (1994). The ecological background of the Mu Us sand land and the principles and optimal models for grassland management. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 18, 1 - 18. (in Chinese with English abstract)
- Zhao YZ (赵一之) (1995). Study on floristic geographical distribution of *Amygdalus mongolica*. *Acta Scientiarum Universities Neimonggol* (内蒙古大学学报), 26, 713 - 715. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 蒋高明 责任编辑: 姜联合 王 葳