河南农业科学,2014,43(2):63-67
Journal of Henan Agricultural Sciences

干旱胁迫下6种固沙灌木叶片水分状况研究

王青宁[1],衣学慧[1],王晗生[2,3],韩　刚[2],赵　忠[2]
(1.杨凌职业技术学院,陕西 杨凌 712100;2.西北农林科技大学,陕西 杨凌 712100;
3.中国科学院 水利部水土保持研究所,陕西 杨凌 712100)

摘要:为探讨干旱胁迫下6种固沙灌木的叶片水分状况,采用控水盆栽的方法处理6种固沙灌木(毛条、杨柴、花棒、醉鱼草、四翅滨藜、沙木蓼)的幼苗,以适宜土壤水分(土壤相对含水量75%)条件为对照,分析不同干旱胁迫(土壤相对含水量50%、35%)条件下6种固沙灌木叶片的相对含水量、水势及其抗旱性。结果表明,6种固沙灌木的清晨叶水势和叶片相对含水量均随土壤含水量的下降而降低,其均具有一定的抗旱性,能适应中度干旱,其中沙木蓼的抗旱性最强,其次为毛条、四翅滨藜,再次为杨柴、花棒,醉鱼草最弱。

关键词:固沙灌木;干旱胁迫;水势;相对含水量;抗旱性
中图分类号:S793　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1004-3268(2014)02-0063-05

Study on Leaf Water Status of Six Sand-fixing Shrubs under Drought Stress

WANG Qing-ning[1], YI Xue-hui[1], WANG Han-sheng[2,3], HAN Gang[2], ZHAO Zhong[2]
(1. Yangling Vocational College of Technology, Yangling 712100, China; 2. Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China)

Abstract: The pot planting with controllable soil moisture contents was carried out for the seedlings of six sand-fixing shrubs, leaf water potential in the morning and relative water content were analyzed under different soil moisture content, including the suitable water condition (soil relative water content of 75%), two types of soil drought (soil relative water content of 50%, 35%). The results showed that leaf water potential in the morning and relative water content of six sand-fixing shrubs decreased with the decrease of soil moisture content, six sand-fixing shrubs showed resistant to drought, and could relatively adapt to the moderate drought. Among them, the strongest in drought resistance was *Atraphaxis bracteata*, followed by *Caragana korshinskii* and *Atriplex canescens*, the third were *Hedysarum mongolicum* and *H. scoparium*, *Buddleja alternifolia* was comparatively weak in drought resistance.

Key words: sand-fixing shrub; drought stress; water potential; relative water content; drought resistance

长期以来,约占国土面积52.5%的干旱、半干旱地区存在着严重的生态环境问题——沙漠化,人工林建设在遏制其发展方面起着不可忽视的重要作用。但实践表明,沙漠化地区乔木生长的范围有限,而许多灌木则对干旱沙区恶劣的环境条件有较强的适应性,适宜多种立地条件下栽植。灌木的区域优势地位以及饲料、薪柴、肥料等多用途性,使得其资源培育尤为必要。多年来人们一直重视对固沙灌木的研究,如从生理角度解释其抗旱适应性,其中有关水分生理的研究较多[1-14],主要是对自然环境中的

收稿日期:2013-05-22
基金项目:国家林业局重点科研项目(2003-066-L66);陕西省林业厅科研计划项目;杨凌职业技术学院科学研究基金计划项目(A2013010)
作者简介:王青宁(1968-),女,陕西凤翔人,副教授,硕士,主要从事森林培育及数理统计方面的研究与教学工作。E-mail:jxklw@163.com

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

灌木水分状况进行测定，分析各水分生态类型的一般特征，但却难以说明灌木遭受干旱胁迫的程度，且灌木种间的详细比较还受生存状况差异的影响。因此，要准确研究灌木对干旱胁迫的反应，需要开展水分单因素试验[12-14]。为此，本研究选择毛乌素沙地上利用价值较高的 6 种代表性固沙灌木，采用模拟持续干旱的控水盆栽方法，重点分析幼苗叶片相对含水量和水势的变化，旨在从水分环境发生干旱的过程中了解 6 种灌木的抗旱性，为沙区营造多用途的灌木林提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

盆栽试验在西北农林科技大学林学院的试验苗圃内进行，该区属暖温带大陆性季风气候，海拔 454.5 m，年均日照时数 2 150 h，年均气温 12.9 ℃，极端最高气温 42 ℃，极端最低气温－19.4 ℃，≥10 ℃积温 4 185 ℃，无霜期 221 d，年均降雨量 621.6 mm。

1.2 试验材料

供试苗木为在毛乌素沙地所培育的 6 种 1 年生灌木：柠条锦鸡儿（毛条）（*Caragana korshinskii*）、蒙古岩黄蓍（杨柴）（*Hedysarum mongolicum*）、细枝岩黄蓍（花棒）（*H. Scoparium*）、互叶醉鱼草（简称醉鱼草，又名白芨梢）（*Buddleja alternifolia*）、四翅滨藜（*Atriplex canescens*）、沙木蓼（*Atraphaxis bracteata*），其中沙木蓼为扦插苗，其余 5 种均为实生苗。

供试土壤为生黄土与河沙的混合物，两者比例为 3∶1，该混合土的水分特征曲线为 $y=17.567x^{-0.1658}$（y 为土壤含水量，x 为土壤水势，$R^2=0.9989$）。由此可知，盆栽基质水势为－1/3 Pa 时的土壤含水量，进而可知田间持水量为 21.08%。

1.3 试验设计

将 18 kg 供试土壤装在塑料桶（上口直径 29 cm、桶底直径 24.5 cm、桶高 29 cm）中，然后进行盆栽试验。各种灌木均设置 3 个土壤水分处理：适宜水分（对照）、中度干旱、重度干旱，土壤含水量依次占田间持水量的 75%、50%、35%，即分别为 15.81%、10.54%、7.38%。选择大小基本一致的苗木于 2 月下旬植入桶中，并将其截干，每桶 3 株，每处理 10 桶，晴天时正常照光，雨天时置于移动式防雨棚下。各处理先充分供水，以保证苗木成活和正常生长，至 5 月底，当新梢长达 5 cm 以上时，停止浇水，每天称质量以控制土壤水分；待土壤含水量达到设定标准后，用直径 2 cm 的 PVC 管，插入桶中土壤 20 cm 深处，补充水分，使各处理稳定在各自的水平。

1.4 测定项目及方法

叶片水分状况主要由叶片含水量和水势来反映。从盆栽土壤水分达到设定水平开始，分别在胁迫 30、45、75、90 d 清晨 6:00，采用压力室法测定叶水势；分别在胁迫 40、56、66、94 d 上午 10:00 采集叶片，采用水饱和法测算叶片相对含水量。每个处理做 4～5 个重复。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下 6 种固沙灌木叶水势变化

叶水势一般受大气和土壤两方面影响，但清晨叶水势受大气条件影响较小，主要由土壤含水量决定，即清晨叶水势可指示土壤的水分状况[15-16]。由图 1 可见，在所有胁迫时间下，6 种灌木所有处理的清晨叶水势均随土壤含水量的减少而降低。对各树种进行双因素（水分处理、胁迫时间）方差分析可知，花棒、杨柴、醉鱼草 3 个处理之间的叶水势差异都不显著（$F=2.14\sim4.88$，$F_{0.05}=5.14$），而毛条、沙木蓼、四翅滨藜都显著（$F=6.29\sim14.64$）。进一步由 q 检验法作多重比较，可知毛条、沙木蓼、四翅滨藜在中度干旱处理和对照之间的叶水势差异均不显著（$D_{毛条}=0.32$，$D_{0.05}=0.41$；$D_{沙木蓼}=0.28$，$D_{0.05}=0.59$；$D_{四翅滨藜}=0.18$，$D_{0.05}=0.32$），而在重度干旱处理和对照之间的叶水势差异均显著（$D_{毛条}=0.72$，$D_{沙木蓼}=0.67$，$D_{四翅滨藜}=0.54$）。可见，与对照相比，中度干旱对 6 种灌木的清晨叶水势均没有显著影响，重度干旱仅对毛条、沙木蓼、四翅滨藜的清晨叶水势有显著影响。

6 种灌木中，四翅滨藜的清晨叶水势受时间因素显著影响（$F=37.23$，$F_{0.05}=4.76$），而其他树种受时间因素影响均不显著（$F<3.86$）。在同一处理下，6 种灌木的清晨叶水势随胁迫时间的延长呈现不一致的变化（图 1）：花棒、杨柴、毛条多为高低不规则波动，四翅滨藜趋于增高，沙木蓼趋于降低，醉鱼草除胁迫处理 30 d 外也趋于降低。由前述 F 值可知，醉鱼草在 3 个处理之间的叶水势差异接近显著水平（$F=4.88$，$F_{0.05}=5.14$）。在胁迫处理 30 d 时，醉鱼草干旱处理叶水势较对照条件下大幅度下降（图 1），中度干旱处理叶水势降幅为 93.33%，重度干旱处理叶水势降幅为 132.22%；其他 5 种灌木干旱处理叶水势较对照条件下降幅为：中度干旱 5.76%～36.46%、重度干旱 0.97%～68.75%。醉鱼草在胁迫处理 30 d 后其干旱处理叶水势较对照也有下降，但降幅较小：中度干旱处理为 1.32%～18.58%，重度干旱处理为 10.6%～44.44%，这可能与其对干旱的适应性调整有关。综上所述，醉鱼草对干旱胁迫比较敏感。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

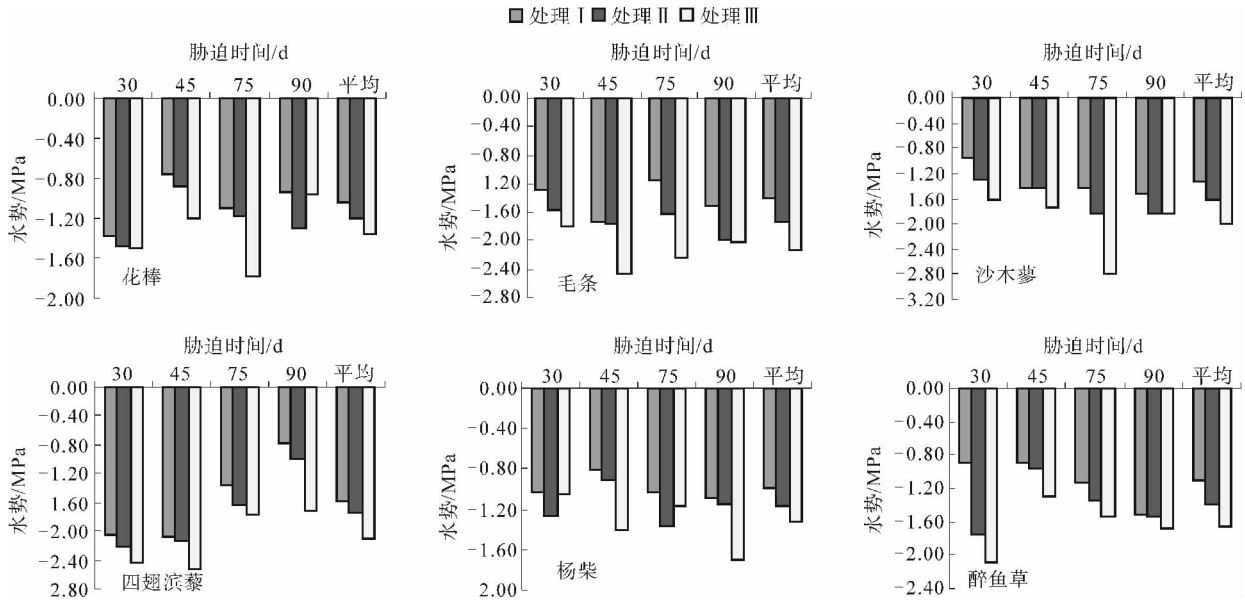


图 1　6 种灌木在不同水分处理下的清晨叶水势

对 2 种干旱处理下的清晨叶水势降幅分别进行双因素(树种、胁迫时间)方差分析可知,除胁迫时间未对叶水势降幅产生显著影响($F=0.15\sim1.57$, $F_{0.05}=3.29$)外,树种之间的叶水势降幅差异也均不显著($F=0.22\sim0.30$, $F_{0.05}=2.90$),从而表明 6 种灌木均具有一定的抗旱性。尽管如此,种间细微差异还是存在的。在同一干旱处理下,不同胁迫时间叶水势降幅的平均值以醉鱼草最高:中度干旱 29.70%、重度干旱 55.89%,其他 5 种灌木较低:中度干旱 14.50%～24.57%、重度干旱 32.20%～53.88%。说明醉鱼草的清晨叶水势受干旱胁迫影响最大。抗旱树种保持水分的能力强,其水势降幅低[17]。可见,醉鱼草的抗旱性较弱。

对同一处理下的清晨叶水势进行双因素(树种、胁迫时间)方差分析可知,胁迫时间同样对叶水势没有显著影响($F=0.08\sim0.54$, $F_{0.05}=3.29$)。6 种灌木之间的叶水势差异,在对照和中度干旱条件下均不显著($F=1.59\sim2.32$, $F_{0.05}=2.90$),而在重度干旱条件下显著($F=3.35$)。q 检验表明,重度干旱条件下叶水势差异达到显著水平的树种组合是毛条与杨柴($D=0.81$, $D_{0.05}=0.79$),接近显著水平的树种组合为毛条与花棒($D=0.78$),四翅滨藜与花棒、杨柴($D=0.76\sim0.79$),沙木蓼与花棒、杨柴($D=0.65\sim0.67$),其他两两组合的叶水势差异都不显著($D=0.02\sim0.49$)。由图 2 可以看出,6 种灌木清晨叶水势在同一处理下有细微差异,在中度干旱条件下其高低顺序为:四翅滨藜<毛条<沙木蓼<醉鱼草<花棒<杨柴;在重度干旱条件下其高低顺序为:毛条<四翅滨藜<沙木蓼<醉鱼草<花棒<杨柴;在对照条件下的排列顺序与中度干旱条件下相同。清晨叶水势反映植物体内水分的恢复状况[9,15-16],其值越小,表明植物吸水能力越大,其抗旱性相对就越强。由此可见,毛条、四翅滨藜、沙木蓼能维持较低的叶水势,有利于苗木从土壤中吸收水分;醉鱼草、花棒、杨柴清晨叶水势较高,从土壤中吸收水分的能力相对较弱。

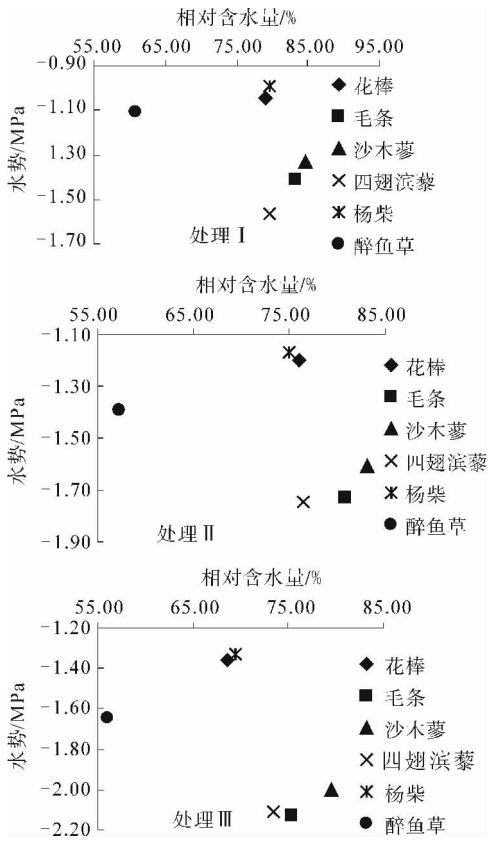


图 2　6 种灌木在同一水分处理下的清晨叶水势和相对含水量

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.2 干旱胁迫下叶片相对含水量变化

由图 3 可见，在胁迫处理期间，6 种灌木的叶片相对含水量均随土壤含水量的减少而降低，但叶片相对含水量都不低，处于 50%～95%，即使重度干旱条件下，四翅滨藜、沙木蓼叶片相对含水量仍不低于 70%，毛条、花棒、杨柴仍不低于 60%，醉鱼草仍不低于 50%。每个处理在同一时间的叶片相对含水量，醉鱼草都低于其他 5 种灌木。

对于各树种 3 个处理之间的叶片相对含水量差异，由双因素（水分处理、胁迫时间）方差分析可知，沙木蓼不显著（$F=3.95$，$F_{0.05}=5.14$），而其他 5 种灌木都显著（$F=6.60\sim31.44$）。q 检验进一步表明，这 5 种灌木在处理Ⅲ和Ⅰ之间的叶片相对含水量差异均显著（$D_{醉鱼草}=4.93$，$D_{0.05}=2.42$；$D_{杨柴}=10.17$，$D_{0.05}=8.60$；$D_{四翅滨藜}=6.25$，$D_{0.05}=4.47$；$D_{毛条}=7.92$，$D_{0.05}=5.08$；$D_{花棒}=10.42$，$D_{0.05}=4.15$）；在处理Ⅱ和Ⅰ之间，叶片相对含水量差异显著的为醉鱼草（$D=3.61$），不显著的为杨柴（$D=4.75$）、四翅滨藜（$D=3.10$）、毛条（$D=2.51$）、花棒（$D=2.98$）。可见，与对照相比，中度干旱仅对醉鱼草的叶片相对含水量有显著影响，重度干旱对除沙木蓼以外的 5 种灌木的叶片相对含水量都有显著影响。

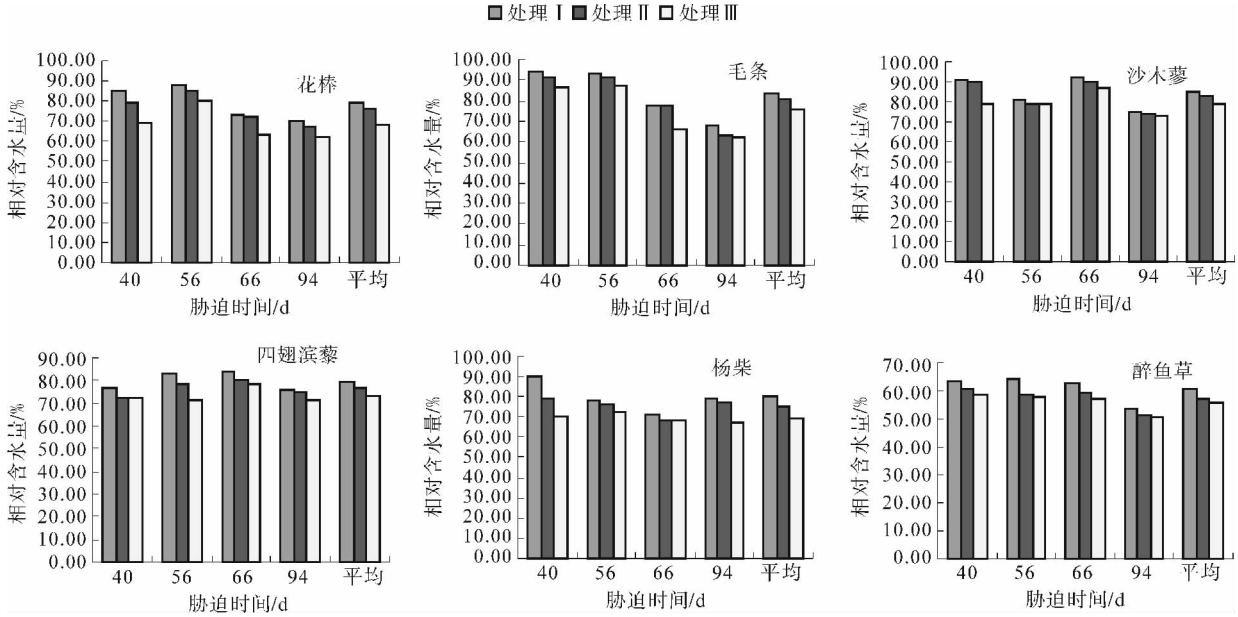


图 3 6 种灌木在不同水分处理下的叶片相对含水量

6 种灌木在同一处理下的叶片相对含水量总体随胁迫时间的延长呈下降趋势（图 3），但四翅滨藜、沙木蓼、花棒、杨柴具凸或凹型过程。时间因素对杨柴的叶片相对含水量没有显著影响（$F=3.68$，$F_{0.05}=4.76$），而对其他 5 种灌木的叶片相对含水量都有显著影响（$F=7.92\sim53.70$）。干旱处理与对照几乎同步变化，这可能与树种生长节律有关。

6 种灌木干旱处理叶片相对含水量较对照降幅都比较小，多数不超过 10%，个别为 11.20%～22.08%。在中度干旱条件下，醉鱼草、杨柴降幅平均值相对较高（5.70%～5.80%），而沙木蓼、毛条相对较低（1.85%～3.12%）；在重度干旱条件下，杨柴、花棒降幅平均值相对较高（12.21%～13.12%），而沙木蓼、四翅滨藜相对较低（5.99%～7.77%）。与清晨叶水势降幅相同，方差分析显示胁迫时间、树种因素也均未对 2 种干旱处理下的叶片相对含水量降幅产生显著影响（$F_{胁迫时间}=1.01\sim1.43$，$F_{0.05}=3.29$；$F_{树种}=1.29\sim1.49$，$F_{0.05}=2.90$）。在干旱条件下，一般抗旱性强的植物叶片含水量下降速度比抗旱性弱的植物迟缓[18-20]。由此说明，6 种灌木都具有较强的抗旱能力。

对同一处理下 6 种灌木的叶片相对含水量进行双因素（树种、胁迫时间）方差分析可知，时间因素对叶片相对含水量的影响，在对照条件下显著（$F=4.63$，$F_{0.05}=3.29$），而在 2 种干旱条件下都不显著（$F=2.97\sim3.27$）。6 种灌木之间的叶片相对含水量差异在 3 种处理下都显著（$F=6.74\sim7.81$，$F_{0.05}=2.90$）。q 检验进一步表明，在对照、中度干旱条件下，醉鱼草与其他 5 种灌木之间的叶片相对含水量差异都显著（$D_{对照}=18.18\sim23.82$、$D_{中度干旱}=17.63\sim25.88$，$D_{0.05}$ 均为 15.00），而其他两两组合之间的叶片相对含水量差异都不显著（$D_{对照}=0.08\sim5.64$、$D_{中度干旱}=0.40\sim8.24$）；在重度干旱条件下，醉鱼草与沙木蓼、毛条、四翅滨藜之间的叶片

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

相对含水量差异都显著($D_{沙木蓼}=23.48$、$D_{毛条}=19.39$、$D_{四翅滨藜}=17.38$,$D_{0.05}=14.30$),与杨柴、花棒之间的叶片相对含水量差异接近显著($D_{杨柴}=13.54$、$D_{花棒}=12.69$),其他两两组合之间的叶片相对含水量差异不显著($D=0.85\sim10.80$)。由图 3 可见,6 种灌木叶片相对含水量在中度干旱条件下的高低顺序为:沙木蓼>毛条>四翅滨藜>花棒>杨柴>醉鱼草;在重度干旱条件下的高低顺序为:沙木蓼>毛条>四翅滨藜>杨柴>花棒>醉鱼草;即使在对照条件下也有相似的排列顺序:沙木蓼>毛条>杨柴>四翅滨藜>花棒>醉鱼草。叶片相对含水量反映植物的保水、吸水、抗脱水能力,其值高表明植物有较大的渗透调节功能和较强的抗旱性。综上所述,沙木蓼、毛条抗旱性较强,醉鱼草抗旱性较弱。

3　结论与讨论

与适宜水分条件下相比,6 种灌木的清晨叶水势和叶片相对含水量在中度、重度干旱条件下都逐级降低。但降幅在树种之间的差异并不显著,而且叶片相对含水量降幅都比较小,表明它们均具有一定的抗旱性。每种灌木在中度干旱与适宜水分条件之间的清晨叶水势差异都不显著,而且中度干旱条件下树种之间的清晨叶水势差异亦不显著,表明 6 种灌木相均能适应中度干旱。除树种本身的特性外,这可能与适度干旱条件下的抗旱锻炼有关。

在中度、重度干旱条件下,6 种灌木的清晨叶水势由低到高的顺序以及叶片相对含水量由高到低的顺序,存在不同之处,但共同的是沙木蓼、毛条、四翅滨藜在前,花棒、杨柴、醉鱼草在后。前三者都能维持较低的叶水势和较高的叶片含水量。综合 2 个指标,6 种灌木的水分状况可明显划分为 3 类,即沙木蓼、毛条、四翅滨藜为一类,醉鱼草单独为一类,花棒、杨柴为另一类。由于重度干旱对植物的影响较大,其对树种抗旱性的分辨率高,也可将沙木蓼划出自成一类。花棒、杨柴同是岩黄蓍属(*Hedysarum*)植物,对干旱的生理响应相似是成立的。这些灌木吸水和保持水分的相对能力可能是固有的,因为它们在适宜水分条件下的排列次序与在中度、重度干旱条件下的大体相近。

叶片相对含水量直观说明植物的叶片水分状况,可较好地反映植物的抗旱性。以叶片相对含水量为主要指标评判 6 种灌木的抗旱性,可见沙木蓼最强,其次为毛条、四翅滨藜,再次为杨柴、花棒,醉鱼草最弱。6 种灌木中,只有沙木蓼的叶片相对含水量在中度、重度干旱条件下都与适宜水分条件下的差异不显著,而且其在中度、重度干旱条件下叶片相对含水量降幅的平均值都最低,分别为 1.85%、5.99%。可见沙木蓼对干旱胁迫反应迟钝,符合抗旱树种的特点。相反,醉鱼草对干旱胁迫反应敏感,其在中度、重度干旱胁迫初期的清晨叶水势均较适宜水分条件大幅度下降,与其他 5 种灌木形成鲜明对比。6 种灌木中,醉鱼草在中度、重度干旱条件下清晨叶水势降幅的平均值都最高,也只有它的叶片相对含水量在中度、重度干旱下均与适宜水分条件下差异显著。在同一处理条件下,醉鱼草叶片相对含水量低于其他 5 种灌木,而且差异在中度、重度干旱条件下达显著或接近显著水平。综合来看,醉鱼草的抗旱性比较弱。

参考文献:

[1] 刘家琼,蒲锦春,刘新民. 我国沙漠中部地区主要不同生态类型植物的水分关系和旱生结构比较研究[J]. 植物学报,1987,29(6):662-673.

[2] 蒋志荣. 沙冬青抗旱机理的探讨[J]. 中国沙漠,2000,20(1):71-74.

[3] 蔡玉成,王政琦,刘旭,等. 几种沙生灌木耐旱生理特性的研究[J]. 中国沙漠,1988,8(4):39-45.

[4] 蔡玉成. 10 种灌木水分生理特性研究[J]. 宁夏农林科技,1989(4):20-24.

[5] 赵一宇,刘慧兰,马德滋,等. 花棒某些抗旱特性的观察[J]. 林业科学,1982,18(2):120-126.

[6] 赵一宇,刘慧兰,马德滋,等. 几种旱生树种的旱生结构及抗旱生理性状[J]. 宁夏农林科技,1980(1):29-33.

[7] 李铭枢. 几种灌木抗旱生理特性的研究[J]. 辽宁林业科技,1990(5):9-15.

[8] 鲁作民,刘家琼,蒲锦春,等. 旱生植物绿色组织水分状况的研究[J]. 植物生理学通讯,1980(4):23-27.

[9] 蒲锦春. 我国荒漠植物的水分饱和亏[J]. 中国沙漠,1989,9(3):44-53.

[10] 符亚儒. 沙区几种防护树种水分特性及抗旱特点的探讨[J]. 陕西林业科技,1998(3):42-44.

[11] 李雪华,蒋德明,阿拉木萨,等. 科尔沁沙地 4 种植物抗旱性的比较研究[J]. 应用生态学报,2002,13(11):1385-1388.

[12] 黄子琛. 干旱对固沙植物的水分平衡和氮代谢的影响[J]. 植物学报,1979,21(4):314-319.

[13] 裴保华,周宝顺. 三种灌木耐旱性研究[J]. 林业科学研究,1993,6(6):597-602.

[14] 徐秀梅,张新华,王汉杰. 四翅滨藜抗旱生理特性研究[J]. 南京林业大学学报,2004,28(5):54-58.

[15] 郭连生,田有亮. 八种针阔叶幼树清晨叶水势与土壤含水量的关系及其抗旱性研究[J]. 生态学杂志,1992,11(2):4-7.

[16] 宋尚伟,夏国海,朱道圩,等. 猕猴桃叶片水分状况及其与耐旱性的关系[J]. 河南农业大学学报,1998,32(3):238-242.

[17] 聂华堂,陈竹生,计玉. 水分胁迫下柑桔的生理变化与抗性的关系[J]. 中国农业科学,1991,24(4):14-18.

[18] 孙彦,杨青川,张英华. 不同草坪草种及品种苗期抗旱性比较[J]. 草地学报,2001,9(1):16-20.

[19] 沈艳,谢应忠. 干旱对紫花苜蓿叶绿素含量与水分饱和亏的影响[J]. 宁夏农学院学报,2004,25(2):25-28.

[20] 刘飞虎,梁雪妮,张寿文,等. 干旱胁迫下苎麻种质的生理生化特性研究[J]. 江西农业大学学报,2000,22(1):11-19.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net