

水分胁迫对 6 种苗木光合生理特性的影响

王强¹, 陈存根², 钱红格¹, 彭晓邦¹, 杨永智³, 徐怀同¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 陕西榆林大保当奥柏自然保护区, 陕西 榆林 719300)

摘 要: 土壤控水条件下, 测定了 2 a 生小叶杨、沙地白榆、旱榆、河南白榆、旱柳和紫穗槐等 6 个树种苗期叶片的气体交换参数、叶绿素相对含量和叶片水势的变化值, 并对其进行了比较分析。结果表明, 供测的 6 种苗木随水分胁迫程度的加剧叶片净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(g_s)和瞬时水分利用效率(WUE)降低的幅度并不相同。6 种苗木上述 5 个指标的降幅排序依次为: 河南白榆 > 小叶杨 > 旱柳 > 紫穗槐 > 旱榆 > 沙地白榆, 说明了不同树种在水分胁迫条件下的光合能力及水分利用能力差别较大。6 种苗木的叶绿素相对含量随水分胁迫程度的加剧变幅也不相同, 河南白榆在严重的水分胁迫下叶绿素相对含量降低显著, 而沙地白榆即使在极端严重的干旱胁迫下叶绿素相对含量的降幅也较小。干旱胁迫对不同树种光合机构的损伤程度有显著差异。6 种苗木叶片水势的测定结果表明, 河南白榆和小叶杨对干旱胁迫较敏感, 最先受到干旱胁迫的伤害, 而沙地白榆和旱榆具有很强的忍耐脱水的性能, 对水分胁迫反应迟缓, 叶片遭受干旱伤害的程度较轻。

关键词: 水分胁迫; 光合特性; 土壤含水量; 叶片水势

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)02-0144-06

中图分类号: Q945.11

Effects of Water Stress on Photosynthetic Characteristics of Six Sorts of Seedlings

WANG Qiang¹, CHEN Cun-gen², QIAN Hong-ge¹, PENG Xiao-bang¹, YANG Yong-zhi³, XU Huai-tong¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. College of Forest, Northwest A & F University,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Dabodan Nature Savin Reserve, Shenmu, Shaanxi 719300, China)

Abstract: Gas exchange, chlorophyll relative content and leaf water potential were measured and compared in leaves of 6 broadleaved tree species under soil water control conditions, the 6 species are *Populus simonii* Carr., *Ulmus pumila* var. *sabulosa*, *Ulmus glaucescens* Franch., *Ulmus pumila* L., *Salix matsudana* Koidz., *Amorpha fruticosa* L.. The results showed that the six tree species had different decreased magnitude in net photosynthetic rate, transpiration rate, Intercellular CO_2 concentration, stomatal conductance and water use efficiency under stronger drought stress. The decrease range ranked as *Ulmus pumila* L., *Populus simonii* Carr, *Salix matsudana* Koidz, *Amorpha fruticosa* L, *Ulmus glaucescens* Franch, *Ulmus pumila* var. *sabulosa*, indicating that there were some differences in photosynthetic capacity and water use efficiency among different tree species under drought stress. Chlorophyll relative content were also different among six tree species, under severe drought stress condition, biggest decrease of chlorophyll relative content was observed in *Ulmus pumila* L, and smallest decrease occurred in *Ulmus pumila* var *sabulosa*. The results indicated that damage degree of photosynthetic apparatus of the six tree species were different under drought stress conditions. The results of leaf water potential indicated that *Ulmus pumila* L and *Populus simonii* Carr were more sensitive to drought stress and easily being hurt. *Ulmus pumila* var. *sabulosa* and *Ulmus glaucescens* Franch had the stronger drought tolerance of dehydration and slower response to drought stress, the leaves of them were not easily damaged by drought stress.

Keywords: water stress; photosynthetic characteristics; soil moisture; plant water deficit

收稿日期: 2008-12-09

修回日期: 2008-02-03

资助项目: 榆林市科技计划项目(14210334); 陶氏支持榆林榆树试验示范林项目(14210343); 科技部国际合作专项(2006DFA33590)

作者简介: 王强(1981—), 男(汉族), 陕西省宝鸡市人, 硕士, 研究方向为干旱地区植被修复。E-mail: wangyilongwyl@126.com.

通信作者: 陈存根(1952—), 男(汉族), 陕西省周至县人, 博士生导师, 主要从事森林生态方向研究。E-mail: chengc513@hotmail.com.

植物的光合作用与其生存环境密切相关,研究植物光合生理特性是揭示植物对不同生存环境适应性机制的有效途径。近年来,随着植物生理生态测试技术的发展,便携式光合测定系统的出现使快捷有效的测定植物的气体交换过程、诊断植物光合机构的运转状况成为可能^[1]。从而为我们更加准确迅速地了解植物在不同生境下的生理生态特性提供了科学有效的手段。水分亏缺是限制植物生长的重要因素之一^[2],尤其在干旱半干旱的西北地区,水分一直是进行植被恢复的主要限制因子。而植物在干旱胁迫条件下的光合生产力是鉴定植物耐旱能力的主要指标之一^[3-4]。许多研究表明,光合作用对叶片水分亏缺非常敏感,轻度的干旱胁迫就会使植物的光合速率下降,使植物的生长发育受到明显的抑制^[5-6]。因此,对植物在水分胁迫下光合生理特性的研究,对西北干旱半干旱地区的植被恢复和生态建设具有十分重要的意义。本研究采用盆栽试验,以干旱和半干旱地区的主要造林树种小叶杨(*Populus simonii* Carr),沙地白榆(*Ulmus pumila* var. *sabulosa*),旱榆(*Ulmus glaucescens* Franch),河南白榆(*Ulmus pumila* L),旱柳(*Salix matsudana* Koidz),紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L)为研究对象,探讨水分胁迫对6种树种光合生理特性的影响,评价各树种在干旱胁迫条件下的适应能力,进一步了解植物适应干旱的生理生态机制,为西北干旱区抗旱造林技术和树种的选择提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验材料为小叶杨、沙地白榆、旱榆、河南白榆、旱柳和紫穗槐2 a生苗木,均取自榆林沙地苗圃基地。将苗木移植在口径40 cm,高60 cm的塑料桶内,桶内用毛乌素沙地阿罗太沙区土壤土装满。将桶底均匀剔出10个直径为1 cm的圆孔,然后铺上3层细纱布,以方便桶内外气体交换,防止桶底水分过多。

将苗木置于苗圃防雨棚内进行培育,经正常水分培育后,选择个体生物量基本一致的苗木进行控水处理。

桶内土壤粒径0.05~0.01 mm,土壤容重1.44 g/cm³,风干含水量2.11%,最大持水量18.5%,最大吸湿系数2.34%。

1.2 试验设计

本研究共6个处理,分别为处理I(对照组)全灌水,使土壤含水量达到土壤田间持水量的90±3.0%;处理II土壤含水量为田间持水量的75±3.0%;处理III土壤含水量为田间持水量的60±3.0%;处理IV土壤含水量为田间持水量的45±3.0%;处理V土壤含水量为田间持水量的30±3.0%;处理VI为持续干旱,不灌水。

在测试开始前3 d,对所有供试幼苗连续每天灌水,使桶内土壤含水量保持在较高的范围内。测定开始后,每3 d灌水一次,灌水时间为测定前2 d傍晚,每次灌水前用TDr(HH₂ moisture meter 美国, Spectrum 技术公司)测定桶内土壤水分含量,以保证桶内土壤水分达到实验要求。经过水分胁迫处理后,各处理土壤水分相对含量(TDr测定值)和土壤水分绝对含量方差分析如表1所示。

1.3 测定指标和方法

1.3.1 光合生理参数的测定 选择晴朗无云的天气,利用Licor-6400便携式光合测定系统(美国, LI-COR公司)对各处理的苗木进行观测。测试时选取长势相近的健康植株,选取充分伸展,无病虫害的健康叶,每株选3片叶子,分别挂牌标记,并用铅笔轻划一条线以保证叶室每次夹在同一位置,测定时保持叶片自然生长角度不变。测定参数主要包括:叶片净光合速率 $[P_n, \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 、蒸腾速率 $[T_r, \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 、胞间CO₂浓度 $(C_i, \mu\text{mol}/\text{mol})$ 、气孔导度 $[(g_s, \text{mmol}/\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 及环境因子光合有效辐射 $[PAR, \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 、大气相对湿度 $(R_H, \%)$ 、大气温度 $(T_a, ^\circ\text{C})$ 、叶温 $(T_{\text{Leaf}}, ^\circ\text{C})$ 等。测定时间从8:30至10:30,每个指标测3个重复,每个重复记录3个数据,最后取平均值。

表1 不同处理的土壤水分含量

| 处理方式 | 处理 I | 处理 II | 处理 III | 处理 IV | 处理 V | 处理 VI |
|---------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 土壤水分含量(TDR 值) | 28.73A | 22.24B | 17.14C | 12.56D | 7.86E | 4.54F |
| 土壤水分含量(绝对含量) | 16.78A | 13.56B | 10.38C | 8.15D | 5.65E | 4.06F |
| 持水量 | 90 | 75 | 60 | 45 | 30 | — |
| 胁迫程度 | 无胁迫 | 轻微胁迫 | 轻度胁迫 | 中度胁迫 | 严重胁迫 | 极端严重胁迫 |

注:同一列数值后的不同大写字母代表各处理有显著差异($P>0.01$)。

1.3.2 叶绿素含量的测定 在测定光合作用的同时利用 CM1000 chlorophyll II meter (美国, Spectrum 技术公司)测定挂牌标记叶片的叶绿素相对含量,每次3个重复,每个重复记录3个数据,最后取平均值。

1.3.3 叶水势和土壤湿度的测定 植物叶片水势利用 WP4 露点水势仪在早晨 6:00—8:00 进行测定,测定前仪器预热 30 min。用 6440FS TDR-100 soil moisture probe(美国, Spectrum 技术公司)测定桶内土壤湿度,每次重复 3 次,最后取平均值。求出不同控水条件下各桶土壤相对湿度(SWC)。

1.4 数据处理

所有数据均通过 Microsoft Office Excel 进行整理,方差分析、相关性分析以及其它统计分析处理均采用 SAS 和 SPSS 软件,图表处理采用 Excel 软件。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对各苗木光合生理的影响

6种测试苗木在不同处理下叶片净光合速率 P_n (图1)、蒸腾速率 T_r (图2)、胞间 CO_2 浓度 C_i (图3)、气孔导度 g_s (图4)以及瞬时水分利用效率 WUE(图5)。

6种苗木在不同控水处理条件下,叶片净光合速率(P_n)变化并不相同(图1),除河南白榆外,其它5种苗木随土壤含水量减少,净光合速率值均先增大,然后随土壤含水量减少, P_n 值均显著降低,这与前人的研究结果相似^[7-10];其中,沙地白榆和旱榆 P_n 值在处理 III 达最大值,比处理 I 分别增大 13% 和 18.6%,然后随土壤水分含量降低 P_n 值降低,在处理 VI P_n 值最小,比处理 I 分别降低 73.5% 和 79.9%;小叶杨,旱柳和紫穗槐 P_n 值在处理 II 值最大,比处理 I 分别增大 8.1%、20.0% 和 18.1%,然后随土壤水分含量降低, P_n 值急剧降低,处理 VI P_n 值最小,比处理 I 分别降低了 91.7%、83.7% 和 86.3%;河南白榆 P_n 值随土壤水分降低而下降,在处理 I P_n 值最大,然后下降趋势加剧,处理 VI P_n 值最小,比处理 I 下降 93.8%。由此看出,沙地白榆和旱榆在一定的干旱条件下仍然能保持较高的 P_n 值,而且在严重干旱胁迫下其 P_n 值下降相对较小;河南白榆与其它 5 种苗木相比较其抗旱能力较弱,在严重干旱胁迫处理下,其 P_n 值下降最大。

从图 2 看以得出,随着干旱胁迫程度的加重,各苗木的蒸腾速率 T_r 的总体变化趋势为缓慢减小,但是,紫穗槐 T_r 值在处理 II 达到最大值,以后依次减小;河南白榆各处理 T_r 值分别与其处理 I T_r 值对比下降了 4.9%、23.4%、46.7%、76.9%、85.4%;沙地白榆各处理 T_r 值分别与其处理 I T_r 值对比下降了 8.3%、21.1%、37.5%、54.8%、67.0%;旱榆分别下降了 6.7%、23.5%、42.9%、62.5%、74.7% 小叶杨分别下降了 8.8%、31.7%、49.6%、73.0%、80.8%;旱柳分别下降了 3.2%、12.7%、25.2%、48.6%、68.1%;紫穗槐各处理 T_r 值分别与其处理 I T_r 值对比的变化值依次为 -2.8%、9.0%、19.8%、49.6%、72.8%。由此得出,在干旱胁迫下 6 种苗木 T_r 的变化幅度大小依次为:河南白榆 > 小叶杨 > 旱榆 > 紫穗槐 > 旱柳 > 沙地白榆;而蒸腾速率的大小以及下降幅度反映了树种控制蒸腾失水的能力^[11],所以 6 种苗木叶片控制蒸腾失水的能力大小依次为:沙地白榆 > 旱柳 > 紫穗槐 > 旱榆 > 小叶杨 > 河南白榆。

从图 2 看以得出,随着干旱胁迫程度的加重,各苗木的蒸腾速率 T_r 的总体变化趋势为缓慢减小,但是,紫穗槐 T_r 值在处理 II 达到最大值,以后依次减小;河南白榆各处理 T_r 值分别与其处理 I T_r 值对比下降了 4.9%、23.4%、46.7%、76.9%、85.4%;沙地白榆各处理 T_r 值分别与其处理 I T_r 值对比下降了 8.3%、21.1%、37.5%、54.8%、67.0%;旱榆分别下降了 6.7%、23.5%、42.9%、62.5%、74.7% 小叶杨分别下降了 8.8%、31.7%、49.6%、73.0%、80.8%;旱柳分别下降了 3.2%、12.7%、25.2%、48.6%、68.1%;紫穗槐各处理 T_r 值分别与其处理 I T_r 值对比的变化值依次为 -2.8%、9.0%、19.8%、49.6%、72.8%。由此得出,在干旱胁迫下 6 种苗木 T_r 的变化幅度大小依次为:河南白榆 > 小叶杨 > 旱榆 > 紫穗槐 > 旱柳 > 沙地白榆;而蒸腾速率的大小以及下降幅度反映了树种控制蒸腾失水的能力^[11],所以 6 种苗木叶片控制蒸腾失水的能力大小依次为:沙地白榆 > 旱柳 > 紫穗槐 > 旱榆 > 小叶杨 > 河南白榆。

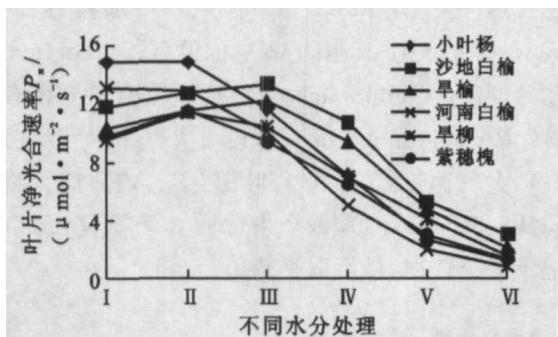


图1 不同处理下叶片净光合速率 P_n 。

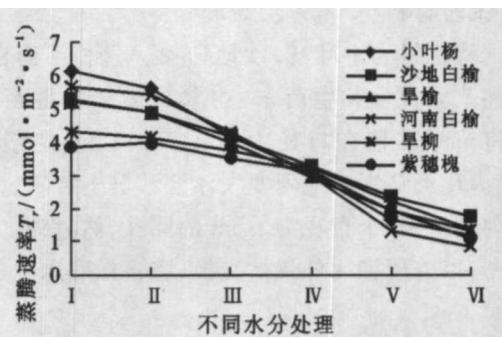


图2 不同处理叶片的蒸腾速率 T_r 。

6种苗木不同处理条件下胞间 CO_2 浓度 C_i 的变化比较复杂(图3),沙地白榆随土壤水分的降低 C_i 值先小幅度增大然后持续降低,在处理 VI C_i 值最小,与其处理 I 比较降低了 35.4%;河南白榆随土壤水分的降低 C_i 值先增大,在处理 II 达到最大值,比其处

理 I 增加了 1.5%,然后随土壤水分含量降低 C_i 值急剧降低,在处理 IV 达到最小值,比其处理 I 降低了 35.4%,最后随着土壤水分含量的降低, C_i 值反而回升,在处理 VI 只比其处理 I 降低了 14.5%;旱榆、旱柳、紫穗槐 3 种苗木随干旱胁迫程度的加重其 C_i 值

变化相似,均在处理 II 达到最大值,分别比其处理 I 增加了 2.7%, 4.1%, 2.1%, 然后随土壤水分的减少, C_i 值急剧降低,在处理 V 值最小,分别比其处理 I 降低了 30.4%, 42.9%, 0.2%, 然后在极端严重的干旱胁迫下, C_i 值反而增大,处理 VI 的 C_i 值比其处理 I 的 C_i 值仅分别降低了 15.5%, 24.8%, 18.3%; 小叶杨随干旱胁迫的加剧,其 C_i 值显著降低,在处理 IV C_i 值最小,比处理 I 降低了 32.6%, 随干旱胁迫程度的进一步加剧, C_i 反而增大,处理 VI 的 C_i 值比处理 I 仅降低了 20.6%。根据 Farquhar 和 Sharkey 提出的观点^[12-13], P_n 下降伴随着 T_r 和 C_i 的下降,主要是气孔因素,如果 P_n 下降而 C_i 反而上升,则说明 P_n 的下降以非气孔因素为主,即 P_n 的下降是由于叶肉细胞的光合活性的下降造成的。由此得知,试测的 6 种苗木在干旱胁迫的初期 P_n 的下降主要是气孔因素,随着胁迫程度的加重,除沙地白榆外其它 5 种苗木的非气孔因素逐渐成为主导因素,在严重干旱胁迫下这 5 种苗木其叶片光合机构可能遭到了破坏,使非

气孔因素成为主要决定因素;而沙地白榆在处理 VI 其 P_n , T_r , C_i 值均为最小值,说明即使在极端缺水情况下,沙地白榆仍然能够通过气孔的开合维持正常的生命活动,其抗旱性最强。

不同控水处理条件对 6 种苗木气孔导度 g_s 的影响显著(图 4),除河南白榆外,小叶杨、沙地白榆、旱榆、旱柳、紫穗槐这 5 种苗木 g_s 值在处理 II 都比其处理 I 略有升高,然后随水分胁迫程度的加重, g_s 值迅速降低,在处理 VI 5 种苗木 g_s 值都最小;但这 5 种苗木的降低幅度各不相同,上述 5 中苗木处理 VI 的 g_s 值比其处理 I 的 g_s 值分别降低了 71.0%, 56.3%, 61.5%, 64.0%, 62.9%;河南白榆随着干旱胁迫程度的加剧, g_s 值急剧减小,处理 VI 的 g_s 值比处理 I 的 g_s 值降低了 75.2%。测试的 6 种苗木中河南白榆的降幅最大,高达 75.2%, 而沙地白榆的降幅最小为 56.3%, 沙地白榆较高的 g_s 保证了外部 CO_2 的供应,从而维持其相对较高的 P_n 值,这与蔡伟等人的研究结果相同^[14]。

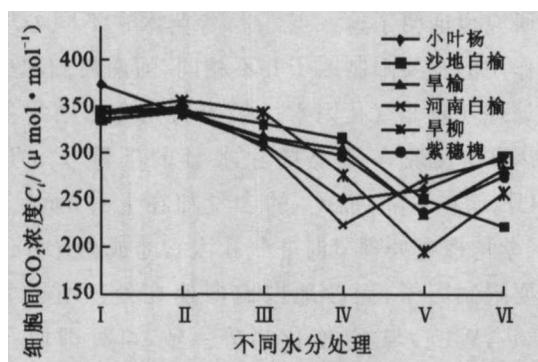


图 3 6 种苗木不同处理胞间 CO_2 浓度 C_i

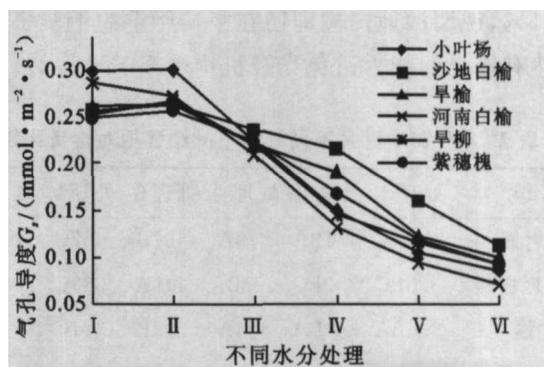


图 4 6 种苗木不同处理气孔导度 g_s

从图 5 可以看出,不同控水条件处理对 6 种苗木瞬时水分利用效率的影响不同,沙地白榆和旱榆在处理 IV WUE 达到最大值,比其处理 I 的 WUE 值分别增大 45.5% 和 59.1%, 然后迅速下降,处理 VI 的 WUE 值比其处理 I 分别降低了 19.8% 和 20.7%;河南白榆,紫穗槐在处理 II WUE 值最大,比处理 I 分别增大了 2.6% 和 14.8%, 然后急剧下降,处理 VI 的 WUE 值比处理 I 的值降幅分别达到 57.1%, 50.0%;小叶杨、旱柳的 WUE 值在处理 III 值最大,比处理 I 分别增加了 15.2 和 25.5%, 然后下降,在极端严重干旱胁迫下, WUE 值比处理 I 降低了 56.7% 和 48.6%。适度的干旱促进了 6 种苗木的 WUE 的提高,说明试测的 6 种苗木都有一定的抗旱性,但在严重干旱胁迫下,沙地白榆和旱榆的降幅较小, WUE 相对较高,而河南白榆降幅最大,达 57.1%^[15]。

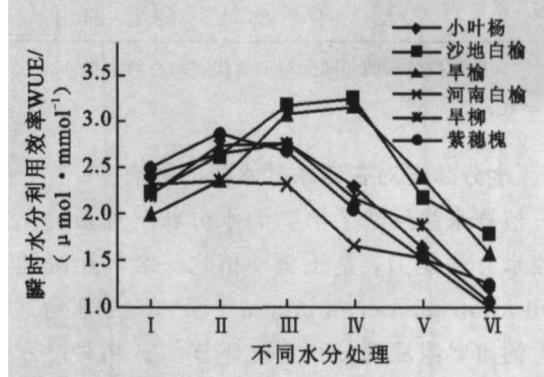


图 5 6 种苗木不同处理瞬时水分利用效率 WUE

2.2 水分胁迫对各苗木叶绿素相对含量的影响

水分胁迫条件下植物体叶绿素含量的变化,指示植物对水分胁迫的敏感性,并直接影响光合产量^[16],在不同胁迫处理下,6 种苗木的叶绿素相对含量的变化也不相同,其中河南白榆和小叶杨的 chl 值

变化相同,其处理Ⅱ的 chl 值和处理Ⅰ的 chl 值相比较都略有增大,但是二者差异不显著。随水分胁迫的加剧,chl 值都迅速降低,各处理间,以及和处理Ⅰ比较均有显著差异。旱柳和紫穗槐的 chl 值变化相同,其处理Ⅱ和处理Ⅲ的 chl 值与其处理Ⅰ相比较均有增加,但增幅不显著,随水分胁迫的加剧,chl 值都迅速降低,各处理间,以及和处理Ⅰ比较均有显著差异。旱榆在处理Ⅱ时的 chl 值比其处理Ⅰ值略有增大,但差异不显著,在处理Ⅲ时 chl 值达最大值,随水分胁迫的加剧,处理Ⅴ和处理Ⅵ,以及和处理Ⅰ比较均有显著差异。沙地白榆的叶绿素相对含量值在处理Ⅳ时最大,和处理Ⅰ、处理Ⅱ差异显著,和处理Ⅲ差异不大。随干旱胁迫程度的加剧,chl 值迅速减少,处理Ⅴ,处理Ⅵ,处理Ⅳ以及前 3 个处理之间的 chl 值均有较大差异。6 种苗木相比较,变幅最大的是河南白榆,在严重干旱胁迫和极端严重干旱胁迫下其 chl 值分别是处理Ⅰ的 86.1%和 83.1%,而沙地白榆降幅较小,在极端严重的干旱胁迫下其 chl 值是处理Ⅰ的 93.1%,说明沙地白榆即使在极端严重的干旱胁迫下仍然有较强的能力避免光合机构受损^[17](表 2)。

表 2 6 种苗木叶片不同处理下叶绿素相对含量比较

| 处理 | 处理Ⅰ | 处理Ⅱ | 处理Ⅲ | 处理Ⅳ | 处理Ⅴ | 处理Ⅵ |
|------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 小叶杨 | 476A | 474BA | 479A | 467B | 452C | 419D |
| 沙地白榆 | 393BC | 392BC | 399BA | 401A | 388C | 366D |
| 旱榆 | 396BA | 399BA | 404A | 392B | 371C | 341D |
| 河南白榆 | 402A | 404A | 400A | 387B | 346C | 334D |
| 旱柳 | 378A | 379A | 383A | 377A | 359B | 331C |
| 紫穗槐 | 363A | 364A | 367A | 363A | 348B | 309C |

注:同一列数值后的相同大写字母代表同一测定指标在 0.01 水平上不显著。

2.3 水分胁迫对各苗木叶水势的影响

植物水势反映了植物的水分状况和植物从土壤吸收水分的能力,是土壤—植物—大气连续体(soil plant atmosphere continuum, SPAC)中水分运转驱动力的重要组成部分和重要环节^[18]。树种叶水势对干旱胁迫的不同反应,体现了各树种不同的耐旱机理和适应机制^[19]。随干旱胁迫程度的加重,6 种试测苗木叶片水势变化趋势相同(图 6),极端严重的干旱胁迫下其叶片水势比处理Ⅰ的水势递减的幅度由大到小依次为河南白榆>小叶杨>旱柳>紫穗槐>旱榆>沙地白榆;其中河南白榆降幅达 1.44 Mpa,而沙地白榆仅降低 0.84 Mpa. 说明河南白榆对外界水分胁迫

较敏感,最先受到干旱胁迫的伤害,对水分胁迫反应迟缓,叶片遭受干旱伤害的程度较轻,这与光合分析的结果相同。

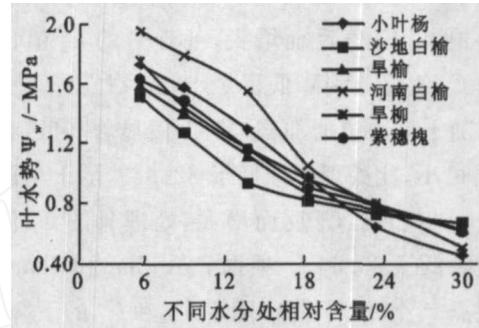


图 6 小叶杨不同处理的叶水势 Ψ_w 。

3 讨论

研究表明水分胁迫对试测的 6 种苗木的光合作用影响极大,除沙地白榆外其余 5 种苗木随水分胁迫程度的增大,光合作用从气孔因素为主要限制因子阶段到非气孔因素为主要限制因子阶段。关义新等人的研究也证明了这一点^[20]。各苗木在不同处理下光合作用的主要限制因子并不相同,河南白榆和小叶杨在处理Ⅴ时非气孔因素已经成为光合作用的主要限制因子,表现在随土壤含水量的下降 P_n , T_r , g_s , WUE 均在下降,而 C_i 的含量却在上升;而旱榆、旱柳、紫穗槐在处理Ⅵ时非气孔因素才成为光合作用的主要限制因子;而沙地白榆即使在处理Ⅵ时其 P_n , T_r , g_s , WUE 与 C_i 变化趋势一致,可见即使在极端严重的干旱胁迫下,沙地白榆光合作用的主导因子依然是气孔性限制因子。

叶绿素是植物体进行光合作用的色素,干旱胁迫条件下植物体叶绿素含量的变化,不仅能反映植物在逆境胁迫下同化物质的能力,而且可以指示出植物对水分胁迫的敏感性^[21]。目前就水分胁迫对叶绿素含量的影响途径和机理还有待进一步研究,但夏尚光等人研究认为榆树在轻度水分胁迫下叶绿素含量会有所增加^[22],这与本实验结果一致,其中沙地白榆在中度的干旱胁迫下其叶绿素相对含量依然比处理Ⅰ高,从而保证了对光能的充分利用。通过提高转化率来保证碳同化,增强体内的代谢活动,这种生理反应,是树种抗旱能力的表现^[23]。沙地白榆即使在极严重的干旱胁迫下叶绿素相对含量的降低幅度也较小,这可能是沙地白榆对于干旱环境的长期适应,抗旱锻炼的结果;而河南白榆随干旱胁迫的加剧叶绿素相对含量的降低幅度最大,这可能与其种源地的环境有关。

树种叶水势对干旱胁迫的不同反应,体现了各树种不同的耐旱机理和适应机制^[24],6个苗木的叶片水势都随干旱胁迫程度的加剧而降低,对供试苗木的叶水势与土壤含水率进行了双曲线拟合,结果表明,在水分胁迫初期,苗木叶水势变化平缓,随着干旱的进一步发展,苗木叶水势呈急剧下降趋势。由图6中的曲线方程对6个苗木的耐旱方式做出了判别,我们认为沙地白榆、旱榆、紫穗槐、旱柳都属较高水势忍耐脱水耐旱树种,具有很强的忍耐脱水性能,对水分胁迫反应迟缓,叶片最晚遭受干旱的伤害。河南白榆、小叶杨属较低水势耐脱水耐旱树种。这与李吉跃等人的研究一致^[19]。通过比较我们可以得出,6种苗木的抗旱能力由大到小依次为沙地白榆>旱榆>紫穗槐>旱柳>小叶杨>河南白榆。

植物耐旱生理特性是一个很复杂的生理过程,它是植物长期适应干旱环境的结果。植物所处的不同环境导致了植物对环境适应机理的差异性^[24]。以上6种苗木对我国西北干旱环境的长期适应,都表现出较强的抗旱能力,但由于其种间和所处环境的差异,抗旱能力的高低又有差别,因而对这些树种抗旱生理习性的研究对西北地区的植被恢复意义重大。

[参 考 文 献]

- [1] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海:上海科学技术出版社,2002.
- [2] 杨建伟,韩蕊莲,魏宇昆,等. 不同土壤水分状况对杨树、沙棘水分关系及生长的影响[J]. 西北植物学报,2002,22(3):579-586.
- [3] 李吉跃. 植物耐旱性及其机理[J]. 北京林业大学学报,1991,13(3):92-100.
- [4] 李忠诚,蔡强国,唐政洪,等. 作物生产力模型及其应用研究[J]. 应用生态学报,2002,13(9):1174-1178
- [5] Harrison R D, Daniell J W, Cheshire J R. Net photosynthesis and conductance of peach seedlings and cutting in responses to changes in soil water potential[J]. J. Am. Soc. Hort. Sci., 1989,114:986-990.
- [6] Griffiths H, Parry M A J. Plant responses to water stress[J]. Ann. Bot., 2002,89:801-803.
- [7] 蒋高明,何维明. 毛乌素沙地若干植物光合作用、蒸腾作用和水分利用效率种间及生境间差异[J]. 植物学报,1999,41(10):1114-1124.
- [8] 肖春旺,周广胜. 不同浇水量对毛乌素沙地沙柳幼苗气体交换过程及其光化学效率的影响[J]. 植物生态学报,2001,25(4):444-450.
- [9] 李阳,齐曼·尤努斯,祝燕. 水分胁迫对大果沙枣光合特性及生物量分配的影响[J]. 西北植物学报,2006,26(12):2493-2499.
- [10] 柯世省,金则新. 干旱胁迫和复水对夏腊梅幼苗光合生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(6):1166-1172.
- [11] 李吉跃,周平,招礼军. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水的影响[J]. 生态学报,2002,22(9):1380-1385.
- [12] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Annu Rev. Plant Physiol., 1982,33:314-336.
- [13] 罗青红,李志军,伍维模,等. 胡杨、灰叶胡杨光合及叶绿素荧光特性的比较研究[J]. 西北植物学报,2006,26(5):983-988.
- [14] 兼伟,谭浩,翟衡. 干旱胁迫对不同葡萄砧木光合特性和荧光参数的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(5):835-838.
- [15] 王旭军,吴际友,廖得志,等. 乐东拟单性木兰光合蒸腾及水分利用效率研究[J]. 中国农学通报,2008,24(10):175-178.
- [16] Reuveni J, Gale J, Zeroni M. Differentiating day from night effects of high ambient CO₂ on the gas exchange and growth of *Xanthium strumarium* L exposed to salinity stress[J]. Ann. Bot., 1997,79:191-196.
- [17] 张永江,侯名语,李存东. 叶绿素荧光分析技术及在作物胁迫生理研究中的应用[J]. 作物逆境生理研究进展,282-288.
- [18] 康绍忠. 土壤—植物—大气连续体水分传输理论及其应用[M]. 北京:水利电力出版社,1994:56-66.
- [19] 李吉跃,张建国. 北京主要造林树种耐旱机理及其分类模型的研究(I):苗木叶水势与土壤含水量的关系及分类[J]. 北京林业大学学报,1993,15(3):1-11.
- [20] 关义新,戴俊英,林艳. 水分胁迫下植物叶片光合的气孔和非气孔限制[J]. 植物生理学通讯,1995,31(4):293-297.
- [21] 姜卫兵,高光林,俞开锦,等. 水分胁迫对果树光合作用及同化代谢的影响研究进展[J]. 果树学报,2002,19(6):416-420.
- [22] 夏尚光,张金池,梁淑英. 水分胁迫下3种榆树幼苗生理变化与抗旱性的关系[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2008,32(3):131-134.
- [23] 王金锡,许金铎. 长江上游高山高原林区迹地生态与营林更新技术[J]. 北京:林业出版社,1995.
- [24] 李吉跃. 太行山区主要造林树种抗旱特性的研究[J]. 北京林业大学学报,1991,13(增刊):230-239.