

浙江省 8 个树种的秋季水分特性

张 俊¹, 温国胜¹, 张明如², 刘欣欣¹

(1. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 旅游与健康学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 为了探讨浙江省低山丘陵区生态保健园树种秋季水分利用特性, 采用 Li-6400 光合作用测定系统和压力室以及压力-容积(P-V)技术, 测定了木荷 *Schima Superba*, 苦槠 *Castanopsis sclerophylla*, 石栎 *Lithocarpus glabra*, 东南石栎 *L. harlandii*, 红叶石楠 *Photinia serrulata*, 红花檵木 *Lorpetalum chindense* var. *rubrum*, 竹柏 *Podocarpus nagi* 和杜英 *Elaeocarpus sylvestris* 等 8 个树种的光合速率、蒸腾速率以及水分特征参数(包括质壁分离时渗透势 π_p , 饱和渗透势 π_0 , 来自比 V_p/V_0 , 相对含水量 C_{RW} 和细胞弹性模量 ξ)。结果表明: 水分利用效率峰值最高的树种为木荷($28.52 \text{ mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$), 最低的是苦槠($12.92 \text{ mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$)。日水分利用效率最高的是石栎($10.44 \text{ mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$), 最低的为苦槠($4.03 \text{ mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$)。通过 5 项水分参数的综合比较, 吸水能力较强的树种有木荷、东南石栎、红花檵木、苦槠, 吸水能力表现较弱的是石栎、杜英、红叶石楠、竹柏; 忍耐脱水能力排序为木荷 > 红花檵木 > 东南石栎 > 苦槠 > 石栎 > 杜英 > 红叶石楠 > 竹柏。树种的各个生理参数之间的相关分析表明, V_p/V_0 与 π_p , π_0 , ξ 之间有显著相关关系, 其余的参数之间无显著相关。图 1 表 4 参 10

关键词: 植物学; 水分利用率; 压力-容积技术; 水分特性

中图分类号: S718.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2012)01-0035-06

Autumnal water features of eight tree species in Zhejiang

ZHANG Jun¹, WEN Guo-sheng¹, ZHANG Ming-ru², LIU Xin-xin¹

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Tourism and Health, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To determine the value of photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r), and water feature parameters [osmotic potential at turgorloss point (π_p), water potential at water saturation point (π_0), (rate of bound water in cell) (V_p/V_0), relative content of water (C_{RW}), and bulk modulus of elasticity (ξ)] of eight tree species, namely *Schima superba*, *Castanopsis sclerophylla*, *Lithocarpus glabra*, *Lithocarpus harlandii*, *Photinia serrulata*, *Loropetalum chinense* var. *rubrum*, *Podocarpus nagi*, and *Elaeocarpus sylvestris*, in the Zhejiang hilly area during autumn, a Li-Cor (Li)-6400 photosynthesis system, a pressure chamber, and pressure- volume (P-V) technology were utilized. A correlation analysis of the parameters was conducted. Results of the correlation analysis showed significant ($P < 0.05$) relationships between V_p/V_0 and ξ ($r = 0.809$), V_p/V_0 and π_0 ($r = -0.732$), V_p/V_0 and π_p ($r = 0.801$). The highest peak water use efficiency (W_{UE}) was found in *S. superba* ($28.52 \text{ mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$) and the lowest with *C. sclerophylla* ($12.92 \text{ mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$). The highest water use efficiency per day was with *Lithocarpus glabra* ($10.44 \text{ mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$), where as the lowest was for *C. sclerophylla* ($4.03 \text{ mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$). Comparing the five water parameters, the order of water absorption capacity was *S. superba* > *Loropetalum chinense* var. *rubrum* > *Lithocarpus harlandii* > *C. sclerophylla* > *Lithocarpus glabra* > *E.*

收稿日期: 2011-04-02; 修回日期: 2011-05-05

基金项目: 浙江省科学技术攻关项目(2008C32021); 浙江省自然科学基金资助项目(Y307525); 浙江省科学技术面上项目(2009D70022)

作者简介: 张俊, 硕士, 从事植物生理生态学研究。E-mail: zjbmk1@126.com。通信作者: 温国胜, 教授, 博士, 从事植物生理生态学研究。E-mail: wgs@zafu.edu.cn

sylvestris > *Photinia serrulata* > *Podocarpus nagi*; whereas the order of dehydration tolerance was *S. superba* > *Loropetalum chinense* var. *rubrum* > *Lithocarpus harlandii* > *C. sclerophylla* > *Lithocarpus glabra* > *E. sylvestris* > *Photinia serrulata* > *Podocarpus nagi*. [Ch, 1 fig. 4 tab. 10 ref.]

Key words: botany; water use efficiency (WUE); pressure-volume (P-V) technology; water features

水分是树木生长的重要生态因子之一^[1]。世界上约有 1/3 的地区，中国约有 52%的国土面积属于干旱、半干旱地区。浙江省地处中国湿润地区，但由于降水的区域不均以及季节干旱胁迫，人类活动的干扰，使森林资源受到破坏，水土流失严重，水资源日益缺乏，生态问题也随之而来。调查发现：浙江省的防火林、沿海防护林和城市园林绿化树种单一，配置模式单调，也制约了生态林的科学发展^[2]。加之，如今人们在追求视觉美的同时也逐渐开始追求身心健康，这样生态保健林应运而生。浙江省低山丘陵区生态保健林的构建既能促进生态环境建设又能满足人们追求身心健康的需求。生态保健园树种的合理配植需要树木水分特性数据作为依托，因此，关于树木的抗旱性以及水分利用效率高低的研究逐渐受到人们的重视，而压力-容积(P-V)技术的开发为进一步研究植物的水分关系开辟了新的途径。本研究利用 Li-6400 光合作用测定系统压力容积和压力室对构建浙江省低山丘陵区生态保健园的 8 个树种的水分特性进行了深入研究，旨在为生态保健园的合理配植提供重要的科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设置在浙江农林大学东湖校区内，属于中亚热带季风气候区，四季分明，温暖湿润，具有春季多雨，夏季湿热，秋高气爽，冬季干冷的气候特征。全年的日照数为 1 847.3 h，全年降水量 1 628.6 mm，全年平均气温为 16.4 ℃，极端最高气温为 40.4 ℃，极端最低气温为-9.2 ℃，年无霜期为 250 d 左右。土壤以黄壤为主。

1.2 实验材料

试验选取 8 个树种作为测定对象，其中水分利用率的测定选取 8 个树种的 2~3 年生小苗作为测定对象。水分特征参数的测定材料选自校园内这 8 个树种的壮龄树。各供试树种苗木如表 1 所示。

表 1 供试树种

Table 1 Eexperimental tree species

树种名称	树高/cm	地径/cm	冠幅/cm
木荷 <i>Schima superba</i>	45 ~ 50	0.6 ~ 0.7	26 ~ 28
苦槠 <i>Castanopsissclerophylla</i>	47 ~ 50	0.7 ~ 0.8	27 ~ 30
石栎 <i>Lithocarpus glabra</i>	43 ~ 45	0.5 ~ 0.6	25 ~ 26
东南石栎 <i>L.harlandii</i>	43 ~ 44	0.5 ~ 0.6	25 ~ 26
红叶石楠 <i>Photinia serrulata</i>	44 ~ 47	0.6 ~ 0.7	25 ~ 27
红花檵木 <i>Lorpetalum chinense</i> var. <i>rubrum</i>	40 ~ 42	0.5 ~ 0.6	24 ~ 27
竹柏 <i>Podocarpus nagi</i>	35~ 36	0.4 ~ 0.6	20 ~ 24
杜英 <i>Elaeocarpus sylvestris</i>	38 ~ 40	0.5 ~ 0.6	22 ~ 25

1.3 实验方法

1.3.1 水分利用率的测定方法

该实验采用美国 Li-6400 光合作用系统，在 2010 年 11 月 4 日到 8 日晴天测定。日变化测定时间分别为 6:30，8:30，10:30，12:30，14:30 和 16:30。在各树种样本中随机选取 3 片树苗中上部向阳且健康完好的树叶，各片树叶 3 次重复进行活体测定。水分利用率(E_{wU})定义为叶片净光合速率(P_n)($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)与蒸腾速率 T_r ($\text{mmol}\cdot\text{mol}^{-1}$)的比值^[2]。

1.3.2 P-V 曲线与水势的测定方法

用压力室法测定压力-容积(P-V)曲线，得出 8 个树种的水分特征参数。具体的步骤为：①截取各试验树种壮龄树上中部向阳部分且叶片健康完好的小枝 25~30 cm，将截取的小枝前部 10~15 cm 剪下，立即称取小枝鲜质量，然后把小枝放入清水中在室温、阴暗高湿条件下饱和和吸水 12 h 以上之后取出，吸干小枝表面的水分，称取其鲜质量。②将称量过饱和鲜质量的小枝装入压力室，在室温条件下(20 ℃左右)，用 Scholander-Hammel 逐渐升压法测定小枝水势(π_w)及失水质量(m)。当压力室压力为 2.6~3.0 MPa，小枝处于脱水状态时，停止测定。③最后取出枝条烘干 (80 ℃，烘

24 h)，称得干质量，做 3 次重复·树种⁻¹。④根据测得的 π_w 以及 m 可以绘制 P-V 曲线，整个 P-V 曲线是由 2 部分构成的：上半部分是双曲线，下半部分是直线。当小枝细胞开始质壁分离时，从这以后组织失去膨压，水势就只有渗透势，即 $\psi_w=\psi_s$ 。现实环境中达到该状态的植物表示已经失去活性。借助 P-V 曲线可以计算出每个测试小枝初始质壁分离时的相对含水量(C_{RW})，束自比(V_P/V_0)以及细胞弹性模量(ξ)等水分特性参数。

2 结果与分析

2.1 8 个树种水分利用率的比较

2.1.1 8 个树种水分利用效率日变化 植物水分利用效率(E_{wu})通常采用叶片的 P_n 与 T_r 的比值来表示，即植物消耗单位质量的水分所固定二氧化碳的数量，是一个较为稳定的衡量碳固定与水分消耗关系的指标^[3]，也是评价水分亏缺条件下植物生长适宜程度的一个综合生理生态指标^[4]，反映植物叶片的瞬间或短期反应行为^[5]，指示植物对水分的利用水平，而且在一定程度上反映了树木的耗水性和干旱适应性。图 1 是 8 个树种水分利用效率日变化。从图 1 中可以看出，这 8 个树种水分利用效率日变化趋势具有非常明显的一致性，均呈单峰曲线。上午的一致性更加明显，均是从 6:30 逐渐升高，到 8:30 左右的时候达到最大值。这主要是因为净光合速率随着光合有效辐射上升而增加，空气的相对湿度较高，蒸腾速率还未达到最大，所以植物的水分利用效率高。之后开始逐渐降低，到 10:30 之后，各树种的水分利用效率呈平缓的变化趋势，保持在一个恒定的水平。这是因为，随着光合有效辐射的增强，温度逐渐升高，蒸腾速率逐渐达到最大值，并一直保持在一个较高的水平，使得水分利用效率变小后保持在一个比较稳定的水平。

8 个树种中，木荷的水分利用效率最高值呈现出最高水平，为 28.52 mmol·mol⁻¹，这表明木荷的水分调节能力是 8 个树种中最强的。石栎仅在峰值时低于木荷，其最高值为 27.96 mmol·mol⁻¹。其余时间段的值与木荷近似。杜英、红叶石楠、东南石栎、红花檵木则处于中等水平。水分利用效率峰值最低的是苦槠和竹柏。苦槠 1 d 中的水分利用效率出现了负值。这是由于此时的光合速率也陡降为负值，而蒸腾速率还维持在较高的水平。出现这种现象的原因是因为此时的气温达到全天的最高，气孔导度几乎减小了一半。

2.1.2 8 个树种日水分利用效率 树种日水分利用效率是该树种日光合量与日蒸腾量的比值。8 个树种日水分利用效率见表 2。其中水分利用效率值越大，表明该树种的 1 d 水分利用效率越高。植物对水分的利用水平在一定程度上反应了树木的抗旱性与干旱适应性。各树种水分利用效率值大小排序为木荷>红叶石楠>石栎>竹柏>杜英>东南石栎>红花檵木>苦槠。其中，水分利用效率值最高的木荷是水分利用效率值最低的苦槠的 2.6 倍。这表明木荷在抗旱性与干旱适应性方面的能力是明显强于苦槠的。其他 6 个树种在水分利用方面基本上处于同一个水平。

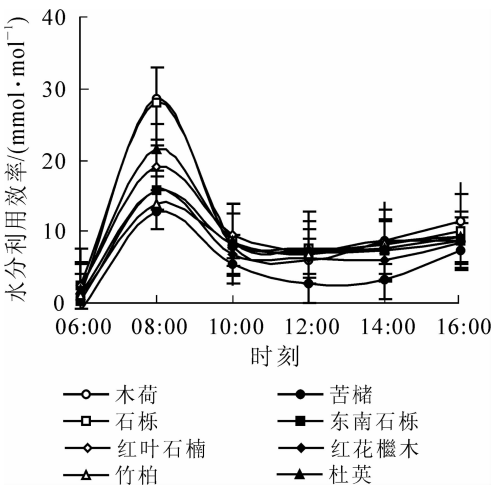


图 1 8 个树种水分利用效率日变化

Figure 1 Diurnal variations of water use efficiency of 8 species

表 2 8 个树种水分利用效率的比较

Table 2 Comparitions of W_{UE} of 8 tree species

树种	光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率/ ($\text{mmol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	水分利用效率/ ($\text{mmol}\cdot\text{mol}^{-1}$)
木荷	92.04 ± 2.38	8.83 ± 0.22	10.44 ± 1.43
苦槠	42.33 ± 1.66	10.53 ± 0.41	4.03 ± 0.74
石栎	119.13 ± 2.29	12.74 ± 0.46	9.35 ± 1.08
东南石栎	114.56 ± 3.41	13.40 ± 0.54	8.55 ± 1.86
红叶石楠	123.11 ± 2.84	13.08 ± 0.56	9.42 ± 0.12
红花檵木	106.25 ± 2.08	13.04 ± 0.42	8.15 ± 1.75
竹柏	91.63 ± 1.37	10.04 ± 0.32	9.12 ± 1.39
杜英	131.28 ± 4.25	14.38 ± 0.70	9.11 ± 1.70

2.2 8 个树种的水分特性比较

2.2.1 8 个树种 π_0 值的比较 π_0 表征植物饱和含水量时的最大渗透势，也是与小枝的吸水能力相关的水分特征参数，是评价树木耐旱性的重要指标。从表 3 中可以看出， π_0 值最小的为东南石栎(-1.74 MPa)，这表明东南石栎在这 8 个树种中吸水能力是最强的。 π_0 值大小排列顺序为：竹柏>石栎>红叶石楠>杜英>红花榿木>苦槠>木荷>东南石栎。则 8 个树种的吸水能力强弱排序为：东南石栎>木荷>苦槠>红花榿木>杜英>红叶石楠>石栎>竹柏。

表 3 8 个树种吸水能力与脱水能力的比较

Table 3 Comparitions of water absorbing capacity and resistance to dehydration of 8 tree species

树种	吸水能力		脱水能力		
	π_0/MPa	ξ/MPa	π_p/MPa	$V_p:V_0/\%$	$C_{\text{RW}}/\%$
红叶石楠	-1.37 ± 0.23	4.75 ± 2.20	-3.03 ± 0.36	46 ± 12	93 ± 1
东南石栎	-1.74 ± 0.36	4.67 ± 0.20	-2.48 ± 0.22	70 ± 11	89 ± 2
杜英	-1.42 ± 0.03	3.38 ± 0.56	-2.40 ± 0.02	59 ± 1	89 ± 3
红花榿木	-1.46 ± 0.10	4.81 ± 0.73	-2.13 ± 0.05	68 ± 5	78 ± 2
苦槠	-1.51 ± 0.06	10.61 ± 1.27	-2.38 ± 0.11	64 ± 5	89 ± 5
木荷	-1.51 ± 0.10	5.16 ± 0.57	-2.12 ± 0.25	72 ± 11	92 ± 1
石栎	-1.35 ± 0.32	8.77 ± 1.49	-2.46 ± 0.28	54 ± 7	89 ± 3
竹柏	-1.33 ± 0.03	1.53 ± 0.52	-2.39 ± 0.19	56 ± 3	98 ± 1

2.2.2 8 个树种细胞弹性模量 ξ 值的比较 细胞弹性模量(ξ)反映了细胞膨压随体积而变化的速率。由于 ξ 不是一个常数，因此一般分析中以最大体积弹性模量 ξ_{max} 来表示细胞的物理性质。 ξ_{max} 值越高表示细胞壁越坚硬，弹性越小，反之，则说明细胞越柔软，弹性越大；随着组织含水量和水势的下降，高弹性组织具有比低弹性组织更大的保持膨压能力。由于组织弹性可以决定相应压力势变化，因而， ξ 在评价树木耐旱性中占有非常重要的地位^[10]。 ξ 即细胞壁弹性的参数，该值越大，表明细胞越坚硬，弹性越小，在水分不充足时，能迅速降低膨压，提高吸水力。8 树种的 ξ 值如表 3 所示。从表中可以看出 ξ 值的大小排列顺序为苦槠>石栎>木荷>红花榿木>红叶石楠>东南石栎>杜英>竹柏。其中， ξ 值最大的是苦槠，达到 10.61 MPa，最小的是竹柏，只有 1.53 MPa。说明在面对水分胁迫时，苦槠能很快的自我调节膨压，提高吸水能力。

2.2.3 8 个树种渗透势 π_p 值的比较 质壁分离时的渗透势(π_p)被认为是衡量植物抗脱水能力的指标， π_p 越低，意味着树木的抗脱水能力越强，抗旱性越强^[6]。从表 3 中可以看出：8 个树种抗脱水能力大小排列顺序为红叶石楠>东南石栎>石栎>杜英>竹柏>苦槠>红花榿木>木荷。其中， π_p 值最低的是红叶石楠，为-3.03 MPa，即红叶石楠是这 8 个树种中抗脱水能力最高的树种。 π_p 最高的是木荷，为-2.12 MPa，所以木荷是这 8 个树种中抗脱水能力最弱的。

2.2.4 8 个树种束自比 V_p/V_0 值的比较 V_p/V_0 即细胞质壁分离时的共质体水体积量与饱和时共质体水体积量之比，值越大，表示细胞发生质壁分离时，细胞内束缚水含量较高，忍耐脱水能力较强。8 个树种 V_p/V_0 值大小排序为木荷>东南石栎>红花榿木>苦槠>杜英>竹柏>石栎>红叶石楠。细胞中束缚水和自由水的比例，反映了植物体内水分存在状况，束缚水比例越大，说明细胞原生质体黏滞性及原生质胶体的亲水性越强，组织渗透势越低，吸水 and 保水能力越强，对提高树木的耐旱能力具有重要意义。植物体内束缚水含量增多时，抗旱性增强^[8]。

2.2.5 8 个树种相对含水量 C_{RW} 值的比较 C_{RW} 表征植物初始质壁分离时的相对含水量，其值越低，表明植物忍耐水分胁迫的能力越强。从表3中可以得到 8 个树种 C_{RW} 值大小排列顺序为竹柏>红叶石楠>木荷>苦槠>东南石栎>石栎>杜英>红花榿木。表现为红花榿木最强，杜英次之，能力最差的竹柏。组织细胞相对含水量是判断植物耐旱性的重要指标。一般认为相对含水量值越低，表明组织细胞在很低的含水量时才发生质壁分离。因此，在一定程度上反映组织细胞忍耐脱水的能力，同时也反映由细胞壁

特性所决定的渗透调节能力^[9]。

2.3 8 个树种各项参数之间的相关分析

表 4 是 8 个树种 6 项参数之间的相关关系，从表中可以很明显看出，具有显著相关性的参数分别是束自比与质壁分离时的水势、束自比与饱和时的水势以及束自比与细胞弹性模量。其中束自比与质壁分离时的水势以及束自比与细胞弹性模量是呈显著正相关的，束自比与饱和水势是呈显著负相关的。

这些参数两两之间的相关关系呈正相关的有水分利用效率与饱和水势、水分利用效率与细胞弹性模量、水分利用效率与相对含水量、细胞弹性模量与质壁分离时的水势、相对含水量与饱和水势；呈负相关的是水分利用效率与质壁分离时的水势、质壁分离时的水势与饱和水势、细胞弹性模量与饱和水势、水分利用效率与束自比、相对含水量与质壁分离时的水势、相对含水量与细胞弹性模量、相对含水量与束自比。

3 结论与讨论

通过试验研究得到了 8 个树种水分利用效率值以及它们所处的范围。8 个树种中，水分利用效率最高的是木荷，最高值达到了 28.52 mmol·mol⁻¹。这表明木荷在自我水分调节方面的能力最强。其次是石栎(27.96 mmol·mol⁻¹)和杜英(21.41 mmol·mol⁻¹)。接下来是红叶石楠、东南石栎、红花榿木、竹柏以及苦槠。其中苦槠的水分利用效率在 1 d 中出现了负值，为-0.98 mmol·mol⁻¹。这表明苦槠在自我水分调节能力方面在这 8 种树种中是最弱的。充分了解这些本地区常见树种各自的水分利用水平，在城市节水林业、低碳城市以及城市生态保健林的建设过程中，就能够进行合理的选择。

各树种在同一环境条件下，水势越低，吸收土壤有效水的能力越强，忍耐和抵抗干旱的能力也越强。 π_0 越低，小枝细胞浓度越大，说明植物的吸水能力越强，抗旱性越强^[7]。所以， π_0 和细胞弹性模量 ξ 是反映植物吸水能力的指标，通过文中数据采用 Fuzzy 函数方法可以综合得出 8 个树种吸水能力排序为木荷>红花榿木>东南石栎>苦槠>石栎>杜英>红叶石楠>竹柏。在浙江省沿海地区盐碱地的改良以及沿海防护林带的建设过程中，吸水能力强的树种是首选。因为这样，不但可以提高树木的成活率，还可以对土壤的改良起到一定的作用。

从 5 个水分参数的比较中，质壁分离时水势、束自比和相对含水量都是反映植物抗脱水能力的指标。Cheung 等^[9]的研究表明，一些植物如银杏 *Ginkgo biloba*，杨树 *Populus* spp.等在 0 膨压点能保存多于 80%的渗透水，并认为这应归功于由细胞壁特性所决定的渗透调节能力。通过 Fuzzy 函数方法可以综合得出 8 个树种忍耐脱水能力排序为木荷>红花榿木>东南石栎>苦槠>石栎>杜英>红叶石楠>竹柏。因此，在浙江省山地土层较薄的地方就能选择其中抗脱水能力强的树种。在节水以及涵养水源、防止水土流失方面发挥更好的作用。

根据对各树种生理生态指标的相关分析可以得出：具有显著相关性的参数分别是束自比与质壁分离时的水势、束自比与饱和时的水势以及束自比与细胞弹性模量。其中束自比与质壁分离时的水势以及束自比与细胞弹性模量是呈显著正相关的，束自比与饱和水势是呈显著负相关的。其他参数之间是没有显著相关性，说明树种的各生理参数之间的影响还存在着很多其他的因素。

浙江省地处湿润地区，但由于人类活动对生态环境的干扰更加频繁以及季节性干旱胁迫，使该地区的人居生态环境逐渐变差。加之随着社会经济的快速发展，都市人群经济收入和闲暇时间的增加，相伴随生活环境质量的下降，生态保健业已成为城市居民的重要户外游憩活动内容。为了满足城市居民生态保健日益增长的需求，在邻近城市的低山丘陵区进行森林生态保健园的建造与设计，其构建关键技术的研究具有重要的学术价值和实践意义。在生态保健园的构建中，水分利用率高的树种如木荷、石栎、杜英可以栽植在土壤水分相对贫瘠的区域——山丘顶部以及离灌溉区域较远的地方。而水分利用率相对较

表 4 水分参数之间的相关关系

Table 4 Correlativity between the parameters of water features

	W_{UE}	π_P	π_0	ξ	V_P/V_0	C_{RW}
W_{UE}	1					
π_P	-0.08	1				
π_0	0.306	-0.211	1			
ξ	0.201	0.568	-0.568	1		
V_P/V_0	-0.224	0.801*	-0.732	0.809*	1	
C_{RW}	0.209	-0.399	0.265	-0.237	-0.421	1

说明：* 表示在 0.05 水平下双尾检验相关性显著。

低的树种如苦槠、红花檵木、东南石栎、竹柏等试验树种应该配植在水分较充足的地带。这样可以充分利用日益缺乏的水资源。

本研究应用光合作用测定系统以及 P-V 技术测定了 8 个树种秋季的光合特征和水分特征, 得到了 8 个树种秋季的光合速率 P_n , 蒸腾速率 T_r , π_0 , 渗透势 π_p , 细胞弹性模量 ξ , 束自比 V_p/V_0 和相对含水量 C_{RW} 等生理生态参数的平均值以及范围。比较了各树种水分利用效率的高低、吸水强弱、保水能力强弱以及抗失水能力的强弱, 为生态保健林、城市园林绿化、沿海防护林、防火林带建设提供了科学依据。

参考文献:

- [1] 王曙光, 周福平, 孙黛珍. 渗透胁迫对六倍体小黑麦幼苗叶片相对含水量的影响[J]. 山西农业科学, 2008, **35** (8): 3 - 5.
WANG Shuguang, ZHOU Fuping, SUN Daizhen. Effects of PEG stress on relative water content in leaves hexaploid triticale seedling [J]. *Shanxi Agric Sci*, 2008, **35** (8): 3 - 5.
- [2] 于贵瑞, 王秋凤. 植物光合、蒸腾与水分利用的生理生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 371 - 377.
- [3] 郑淑霞, 上官周平. 8 种阔叶树种叶片气体交换特征和叶绿素荧光特性比较[J]. 生态学报, 2006, **26** (4): 1080 - 1087.
ZHENG Shuxia, SHANGGUAN Zhouping. Comparison of leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in eight broad-leaved tree species [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26** (4): 1080 - 1087.
- [4] 王颖, 魏国印, 张志强, 等. 7 种园林树种光合参数及水分利用效率的研究[J]. 河北农业大学学报, 2006, **29** (6): 44 - 48.
WANG Ying, WEI Guoyin, ZHANG Zhiqiang, *et al.* Water use efficiency of seven afforestation tree species in different apportioning environment [J]. *J Agric Univ Hebei*, 2006, **29** (6): 44 - 48.
- [5] EAMUS D. The interaction of rising CO₂ and temperatures with water use efficiency [J]. *Plant, Cell & Environ*, 1991, **14**: 843 - 852.
- [6] 狄晓艳, 王孟本, 陈建文, 等. 杨树无性系 P-V 曲线水分参数的研究[J]. 西北植物学报, 2007, **27** (1): 98 - 103.
DI Xiaoyan, WANG Mengben, CHEN Jianwen, *et al.* Study on water parameters with PV curves in eight poplar clones [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2007, **27** (1): 98 - 103.
- [7] 刘广全, 赖亚飞, 李文华, 等. 4 针叶树抗旱性研究[J]. 西北林学院学报, 2004, **19** (1): 22 - 26.
LIU Guangquan, LAI Yafei, LI Wenhua, *et al.* A study on drought-resistance mechanism of four conifer species [J]. *North-west For Coll*, 2004, **19** (1): 22 - 26.
- [8] 柴宝峰, 李洪建, 王孟本. 晋西黄土丘陵区若干树种水分生理及抗旱性量化研究[J]. 木本植物研究, 2000, **20** (1): 79 - 85.
CHAI Baofeng, LI Hongjian, WANG Mengben. A study on water physiology and quantity of drought resistance several trees in the hilly Loess Region in the west of Shanxi Province [J]. *Bull Bot Res*, 2000, **20** (1): 79 - 85.
- [9] CHEUNG Y N S, TYREE M T, DAINTY J. Water relations parameters on single leaves obtained in a pressure bomb and some ecological interpretations [J]. *Can J Bot*, 1975, **53**: 1342 - 1346.
- [10] 邹武, 温国胜, 徐贵艳, 等. 应用压力-容积技术测定 3 个防火树种的水分特征[J]. 浙江林学院学报, 2010, **27** (1): 76 - 80.
ZOU Wu, WEN Guosheng, XU Guiyan, *et al.* Water characteristics of three fire resistant tree species using pressure-volume (P-V) technique [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2010, **27** (1): 76 - 80.