

不同土壤水分条件下白榆的光响应研究

朱艳艳,贺康宁,唐道锋,巩玉霞

(北京林业大学水土保持学院,教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室,北京:100083)

摘 要:在黄土半干旱地区,利用 LI-6400 便携式光合仪的 Li-6400-02B 红蓝光源设定从 $0 \sim 2\,000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的光强,通过人工控水的方法取得不同的水分梯度,对白榆的各生理生长参数的光响应规律进行研究,结果表明:光辐射强度和土壤含水量对白榆的净光合速率、蒸腾速率和水分利用效率有十分显著的影响。白榆光合速率 P_n 在土壤含水量为 17.68% 左右时达到最大,光合利用率在光强为 $1\,200 \sim 1\,600\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时较高。蒸腾速率 T_r 在各水分梯度下随光强的增大有增大的趋势,水分利用效率 WUE 在土壤含水量为 14.86% 左右达到最大,在光强为 $800 \sim 1\,500\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时较高。因此,白榆生长的适宜水分条件为 14.86% ~ 17.68%,光强为 $1\,200 \sim 1\,500\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,光能和水分利用效率都较高。

关键词:白榆;净光合速率;蒸腾速率;光响应

中图分类号:S718.45;S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2007)02-0092-03

Response to Light of *Ulmus pumila* in Different Soil Moisture

ZHU Yan-yan, HE Kang-ning, TANG Dao-feng, GONG Yu-xia

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Controlling soil moisture by men, under the simulated photosynthetic radiation (SPR) of portable photosynthesis system (LI-6400), physiological index of *Ulmus pumila* was conducted in this study in a semi-arid region of loess plateaus. The result shows that photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r) and water use efficiency of leaf (WUE) have clear threshold value response to soil moisture and photosynthetic active radiation. The soil water content and photosynthetic active radiation cause photosynthetic rate of *Ulmus pumila* highest is about 17.68%. Photosynthetic active radiation of keeping higher sunshine use efficiency under fitting soil water content is $1\,200 \sim 1\,600\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, transpiration rate is higher as higher photosynthetic active radiation under soil moisture. The soil water content cause water use efficiency highest is about 14.86%, keeping higher water use efficiency under fitting soil water content is $800 \sim 1\,500\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. so the fitting soil water content management range of *Ulmus pumila* is about 14.86% ~ 17.68%, photosynthetic active radiation cause higher sunshine use efficiency and water use efficiency of *Ulmus pumila* is $1\,200 \sim 1\,500\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$.

Key words: *Ulmus pumila*; photosynthetic rate; transpiration rate; sunshine response

光是植物进行光合作用的能源,也是对植物光合机构最重要的和影响最大的环境因素^[1]。在黄土半干旱地区,干旱、强光是影响植物生长的最主要的因子,对植物生长、存活和生产力的形成等具有极其重要的作用。研究表明,水分胁迫和光胁迫显著影响净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、水分利用效率(WUE)。目前,在这一地区对植物受水分胁迫各生理参数的变化规律研究较多^[2~4],在不同水分梯度下各参数对光辐射强度的响应研究较少。白榆(*Ulmus pumila*)耐干旱、贫瘠,生长快,寿命长。在缺水的黄土高原半干旱地区,也是人工造林的主要树种之一。现在,对于白榆生理生态特性的研究还少见报道。本文通过研究不同水分梯度下盆栽 3 年生白榆苗对不同光辐射强度的响应规律,找出白榆适宜生长的水分条件和光照范围,为黄土半干旱地区的抗旱造林树种的选择和水分的有效利用提供理论依据。

1 实验条件与方法

1.1 试验地概况

试验地位于山西省方山县峪口镇的北京林业大学径流林业试验场(北纬 $37^\circ 36' 58''$,东经 $110^\circ 02' 55''$),属黄河中游黄土丘陵沟壑区,平均海拔 $1\,200\ \text{m}$ 。该地区属于暖温带大陆性季风气候,年平均气温为 7.3°C ,年平均 10 的活动积温为 $2\,223.5^\circ\text{C}$,干燥度 1.3,年平均降水量 $416\ \text{mm}$,6~9 月份的降水占全年的 70% 以上,年内分布不均,年自由水面蒸发量为 $1\,857.7\ \text{mm}$,最大蒸发出现在 4~6 月份,表现出典型的北方严重的春旱的特征。土壤为中壤质黄绵土,质地均匀,平均土壤容重 $1.20\ \text{g}/\text{cm}^3$ 。

1.2 研究方法和研究材料

由方山县林业局苗圃提供 3 年生的白榆实生苗,平均苗

* 收稿日期:2006-04-26

基金项目:国家自然科学基金(30371172);教育部科学技术研究重大项目(10407)项目内容

作者简介:朱艳艳(1982-),女,在读硕士,主要研究方向:林业生态工程建设;责任作者:贺康宁(1962-),博士,教授,博士生导师,主要研究方向:水土保持,林业生态工程建设,抗旱造林技术。

高分别为 62 cm,平均胸径分别为 3.55 cm,苗木于 2005 年 3 月 25 日植入口径 35 cm,高 50 cm 的花盆中,每盆栽植 1 株。根据试验地大田实际土壤含水量、适宜土壤含水量及最大田间持水量^[5,6],设计 6 种土壤水分水平:5 % ± 1 %、8 % ± 1 %、10 % ± 1 %、14 % ± 1 %、17 % ± 1 %及 21 % ± 1 % (重量含水量),每个水平设置 5 盆重复,盆栽苗木放置于可移动的防雨大棚内,雨天用防雨透明塑料遮雨,晴天露天生长。观测前采用称重法控制土壤水分,并加水补充其蒸腾损失,并用保鲜膜覆盖来抑制土壤蒸发,放置 24 ~ 36 h 后,当土壤水分渗透稳定后进行观测。

在上午 8:30 ~ 11:00 外界条件比较稳定时,应用 Li - 6400 便携式光合仪的 Li - 6400 - 02B 红蓝光源设定模拟光辐射强度,模拟光辐射强度 (R) 的梯度设置为:0,50,100,200,400,600,800,1 000,1 200,1 500 和 2 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。仪器直接记录净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、胞间 CO_2 浓度 (C_i) 和气孔导度 (G_s) 等生理因子,测量过程中温度为 31.2 ± 1.7 ,空气相对湿度为 $42.7\% \pm 2.1\%$ 。 CO_2

浓度为 $370 \pm 10 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。测定时,在每株苗木的中上部选取 2 片健康叶片作为实验材料,每个叶片每次连续采取 5 个稳定的数据,取平均值,利用 SPSS 软件对结果进行统计分析。叶面积用扫描仪扫入电脑后用 photoshop5.0 进行计算,土壤含水量用 TDR 水分仪测定,叶片水分利用效率通常用净光合速率与蒸腾速率的比值即 P_n/T_r 来表示。绘制光合作用的光响应曲线 (即 $P_n - R$ 曲线),求出光合作用的光饱和点,从净光合速率 - 光合有效辐射曲线的初始斜率求得表观量子效率 (γ)^[7-9],计算光补偿点。

2 结果与分析

2.1 净光合速率与蒸腾速率的光响应

光合作用是植物将太阳能转化为化学能并储存在有机物中的过程。它是植物生长和植物量积累的基础,并且对外界环境 (如光强、水分等) 的影响很敏感。光合作用效率表示植物生产有机物质的效率。净光合速率的光响应研究可以获知植物叶片的光饱和点、光补偿点和表观量子效率等光合参数。

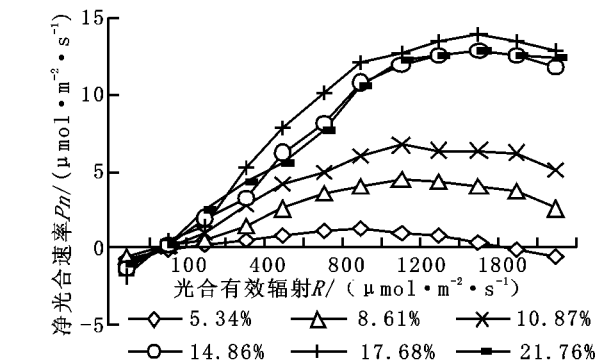


图 1 白榆的 $P_n - R$ 关系图

由图 1 可以看出,白榆各水分梯度下的 $P_n - R$ 曲线均呈抛物线形式,开始时 P_n 随着光强的增加逐渐增大,达到一定数值 (即光饱和点) 后,随光强的增加又有下降趋势。在低水分条件 5.34 % ~ 10.87 % (即水分胁迫) 下,曲线总体变化较为平缓。随着土壤含水量的增大,在 14.86 % ~ 17.68 % 时, $P_n - R$ 曲线逐渐上升,变化幅度显著增大。在土壤含水量为 21.76 % 时白榆的 P_n 相比于 17.68 % 时又有所下降。由此看出,水分对光 - 光响应曲线影响明显。光补偿点 LCP、光饱和点 LSP 和表观量子效率 是指示植物光响应特征的重要指标。对光 - 光响应曲线进行模拟,求得 LCP、LSP,对低光强下的 $P_n - R$ 曲线线形回归 (图 2),求得结果如表 1 所示。

表 1 白榆的光合参数

土壤含水量 SWC %	表观量子 效率	光补偿点 LCP / $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	光饱和点 LSP / $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$
5.34	0.01	85.2	750
8.61	0.0109	33.4	1316.7
10.87	0.0194	29.7	1412.5
14.86	0.0223	29.3	1508.6
17.68	0.0342	13.4	1485.7
21.76	0.0271	7.3	1458.3

白榆光饱和点随土壤含水量的变化趋势同净光合速率基本一致。植物光补偿点的高低直接反映了植物对弱光利用能力的大小,是植物耐荫性评价的重要指标^[10]。由表 1 可看出,白榆的光补偿点随着土壤含水量的增加逐渐降低,表明白榆对弱光的利用能力越来越强。同时可看出,土壤含水量对表观量子效率也有显著的影响。随含水量的增加

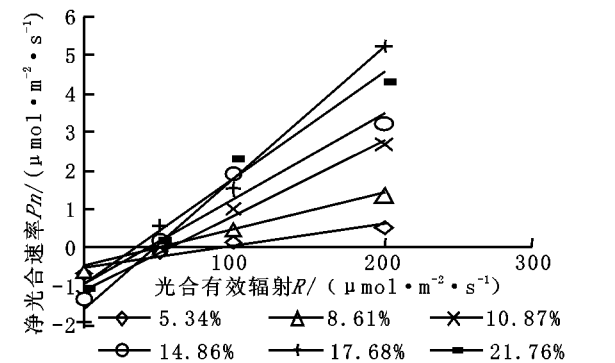


图 2 低光强下的白榆 $P_n - R$ 关系图

也呈上升趋势,此时白榆光合能力越来越强,在水分条件 17.68 % 左右时达到最大而后逐渐下降。与一般植物自然条件下的表观量子效率 (0.03 ~ 0.05)^[7] 相比较低,说明白榆在低光强下光合能力较低,不能很好的利用弱光。从图 1 和表 1 可看出,光饱和点在土壤含水量为 10.87 % ~ 21.76 % 时变化并不是特别明显,此时,光合有效辐射在 1 200 ~ 1 600 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,光合利用率较高。但在低水分条件下光饱和点较低,说明白榆在受水分胁迫时更易受到强光胁迫,光能利用效率明显下降。光合作用受到抑制。

蒸腾为植物提供蒸腾拉力,使物质和水分从下往上运输,使气孔张开进行气体交换,还可以降低植物表面的温度,减少对植物的损伤。通过研究蒸腾作用对光辐射强度的响应,可以更好的了解适宜植物生长的水分和光强的阈值。由图 3 可以看出,在水分充足时,白榆的蒸腾作用并没有受到光抑制,随着光强的增大,蒸腾速率不断增加。增加幅度很均衡,几乎呈直线,说明单位光强的增加对白榆的蒸腾速率的增加所起的作用几乎是相同的,强光并没有引起蒸腾的明显增大。而在水分含量较低 (小于 10.87 %) 时,蒸腾速率开始随光强变化不是很明显但有缓慢上升的趋势,随着光强的再一步增大蒸腾速率反而下降了,这说明白榆在水分胁迫和强光胁迫的同时作用下内部组织可能遭到破坏。

由以上部分可以看出,光合作用和蒸腾作用随光合有效辐射的变化规律有所不同,各水分条件下 P_n 随光强变化都会达到光饱和点,但 T_r 大部分水分条件下却一直随光强增加而增大。说明 T_r 很少受到光的抑制。并且随土壤含水量的增大, P_n 在水分含量达到一定数值后,又下降趋势。 T_r 却一直随含水量的增加而增大。

2.2 水分利用效率的光响应

水分利用效率(WUE)是用来说明植物消耗单位重量的水分所固定的 CO_2 数量即植物的生产量,一般用 P_n 与 T_r 的比值来表示。在干旱的环境条件下,植物的 WUE 越大,则表明植物节水能力越强,耐旱生产力越高。因此 WUE 是指导干旱区作物栽培、造林树种的选择和耐旱生产力评价的重要指标^[11]。由图 4 可以看出,WUE 与 SWC 和 R 密切相关。随 SWC 的增大,WUE 逐渐增大,在土壤含水量为 14.86% 达到最大,而后随 SWC 的增大而逐渐减小。不同土壤含水量下白榆的 WUE 在起始阶段都随 R 强度的增加逐渐增大,WUE 达到最大值,然后随 R 的继续增强而逐渐下降。以 SWC 为 14.86% 时的 WUE 最高,尤其在 800~1 600

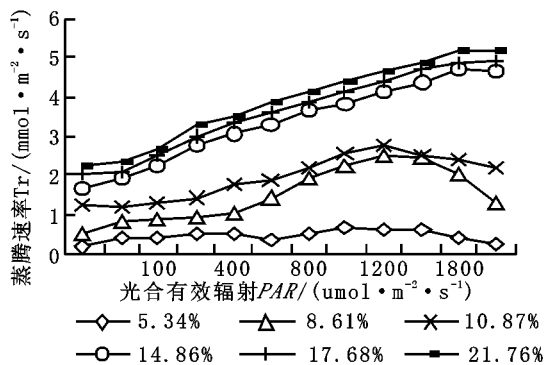


图 3 白榆 T_r - R 关系图

由以上分析可以看出,SWC 在 14.86%~21.76% 时,水分利用效率较高,尤其光强在 800~1 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,WUE 都处于较高的水平。并且最大值所对应的光强较高,白榆的 P_n 在水分含量为 17.68% 时最大,14.86% 其次,两水分梯度下的光饱和点分别为 1 485.71,1 508.57 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,并且 P_n 较高在 13 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 左右。说明具有较高的光能利用效率。因此,白榆既具有较高的光能利用效率又具有较高的水分利用效率的水分范围应在 14.86%~17.68%。

3 结 论

光辐射强度的变化对白榆的光合速率、蒸腾速率和水分利用效率都有显著影响。由白榆净光合速率和蒸腾速率与光辐射强度的关系可以看出, P_n 与 T_r 均有增大的趋势,但 P_n 与 T_r 的增加趋势有所不同。 P_n 随 R 增强的增幅越来越小,当光照强度进一步增强, P_n 有下降趋势。光饱和点在土壤含水量为 10.87%~21.76% 时变化并不是特别明显,都在 1 400~1 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光合有效辐射在 1 200~

$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的光照强度范围内,明显高于其他 SWC 下的 WUE,而且此 SWC 下的曲线在达到最大值以后,随 R 的继续增加,下降的较为缓慢。其次在 SWC 为 17.68% 和 21.76% 时,大约在 800~1 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的光强范围之内具有较高的 WUE,而且在这个范围内受 R 的影响相对较小,变化范围不大。但是当 SWC 在 5.34% 和 8.61% 时,随 R 的增加,WUE 急剧上升,达到最大值后,WUE 又迅速下降。虽然在水分胁迫下, T_r 和 P_n 并不大,但最大值并不比其他水分条件下的值低,这是因为土壤水分干旱会导致光合速率、蒸腾速率和气孔导度降低,而使 WUE 升高^[10],但在 R 为 1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 左右就达到最大值,由此看出,水分胁迫下,白榆抵抗强光胁迫的能力明显降低。

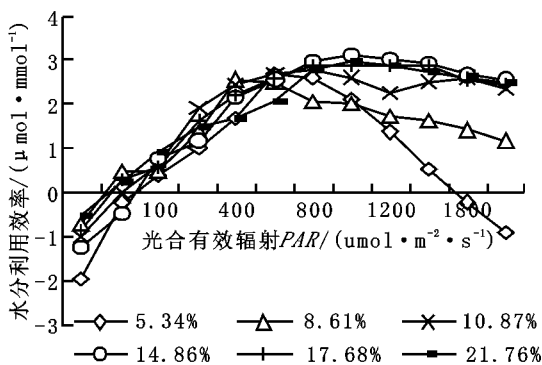


图 4 白榆的 WUE- R 关系图

1 600 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,光合利用率都较高。蒸腾速率随光强的增加大部分都呈上升趋势,水分含量越高蒸腾速率越大。起初 P_n 比 T_r 增长快,但达到最大值后, P_n 逐渐减小, T_r 继续增大,水分利用效率在光强为 1 100~1 300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时达到最大值,与 P_n 相比明显下降。光强在 800~1 600 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,WUE 都处于较高的水平。因此,白榆既具有较高的光能利用效率又具有较高的水分利用效率的水分范围是 14.86%~17.68%,光强范围在 1 200~1 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

在水分、强光和高温为限制因素的黄土半干旱区,白榆主要受到水分和强光胁迫的影响,植物生长季节,白天大部分时间的光辐射强度在 1 000~1 700 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,甚至更高。而土壤含水量除了雨季(主要集中在 7~8 月,降雨量占全年的 50%~90%)以外,大部分时间都在 12% 左右^[12]。因此,白榆大部分时间处于水分胁迫和强光胁迫的影响之下,所以应采取一定的集水措施和保水措施,增加土壤含水量。还应该调整造林密度,增加单株树木的水分利用量。白榆栽植在阴坡或半阴坡强光稍弱的地方,生长应稍好一些。

参考文献:

- [1] 沈允钢,许大全. 植物生理与分子生物学, XVIII 光合机构对环境的响应与适应[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 225 - 235.
- [2] 张光灿,刘霞,等. 金矮生苹果叶片气体交换参数对土壤水分的响应[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 66 - 72.
- [3] 朱万泽,薛建辉,等. 台湾桉木种源对水分胁迫的光合响应及其抗旱性[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 170 - 173.
- [4] 盛钰,赵成义,等. 水分胁迫条件下绿洲农田冬小麦水分运移规律研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 162 - 165.
- [5] 贺康宁,张光灿,田阳,等. 黄土半干旱区集水造林条件下林木生长适宜的土壤水分环境[J]. 林业科学, 2003, 39(1): 10 - 16.
- [6] 王百田,杨雪松. 黄土半干旱区油松与侧柏林分适宜土壤含水量研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 80 - 83.
- [7] 李小磊,张光灿,等. 黄土丘陵区不同土壤水分下核桃叶片水分利用效率的光响应[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(1): 43 - 47.
- [8] 中国科学院上海植物生理研究所. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999. 89 - 95.
- [9] 郭志华,张宏达,李志安,等. 鹅掌楸 (*Liriodendron chinense*) 苗期光合特性研究[J]. 生态学报, 1999, 19(2): 164 - 169.
- [10] 王雁,马武昌,扶芳藤,紫藤等 7 种藤本植物光能利用特性及耐荫性比较研究[J]. 林业科学研究, 2004, 17(3): 305 - 309.
- [11] Damesin C, Rambal S, Joffre R. Between tree variations in leaf ^{13}C of *Quercus pubescens* and *Quercus ilex* among Mediterranean habits with different water availability[J]. Oecologia, 1997, 111: 26 - 35.
- [12] 王斌瑞,王百田. 黄土高原径流林业[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.