

美国黄松、奥地利黑松和油松光合、蒸腾及生长特性分析^{*}

刘建军, 王得祥, 雷瑞德, 崔宏安, 王翼龙

(西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:通过对黄土丘陵沟壑区引种栽培的美国黄松、奥地利黑松和地带性树种油松的光响应曲线、光合速率、蒸腾速率、气孔导度等生理特性以及树高生长过程进行测定和对比分析,结果表明:美国黄松的光合速率、蒸腾速率均明显高于奥地利黑松和油松,在光饱和点,3个树种的光合速率(CO_2)分别为 122.153、111.786 和 62.550 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;3个树种光合作用的日进程都存在“午休现象”;美国黄松、奥地利黑松的胸径和材积生长速度大于油松,因此,就生长特点和目前表现而言,美国黄松、奥地利黑松在黄土高原丘陵沟壑区表现良好,可以在本区域扩大引种推广范围。

关键词:美国黄松;奥地利黑松;光合速率;蒸腾强度;生长过程

中图分类号:S718.43 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2002)03-0001-04

Photosynthesis, Transpiration and Growth Features of *Pinus ponderosa*,
P. nigra var. *austriaca* and *P. tabulaeformis*

万方数据

LIU Jian-jun, WANG De-xiang, LEI Rui-de, CUI Hong-an, WANG Yi-long

(College of Forestry, NW Sci-Tech Univ. of Agr. and For., Yangling, Shaanxi, 712100, China)

Abstract: Light curve, photosynthetic rate, transpiration, stoma conduct of *Pinus ponderosa*, *P. nigra* var. *austriaca* and *P. tabulaeformis* were measured using Licor-6400 portable photosynthesis system, and also height growth process were analyzed in this paper. The results show that photosynthetic rate and transpiration of *P. ponderosa* were higher than those of *P. nigra* var. *austriaca* and *P. tabulaeformis*; photosynthetic rate of *P. ponderosa*, *P. nigra* var. *austriaca* and *P. tabulaeformis* at the light saturation point(CO_2) were about 122.153 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 111.786 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ and 62.550 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ respectively; there was “noon break phenomenon” in the diurnal variation of photosynthetic rate for 3 tree species. As the volume and diameter growth of *Pinus ponderosa*, *P. nigra* var. *austriaca* introduced from aboard have obvious advantages than *P. tabulaeformis*, they can be cultivated and popularized in more expend areas according to their growth features and presently appearances.

Key words: *Pinus ponderosa*; *P. nigra* var. *austriaca*; photosynthetic rate; transpiration; growth process

为了丰富黄土高原的树种资源,加速黄土高原森林植被和城市森林生态体系建设,20世纪70年代中期至80年代初期,黄土高原开始从国外引进一些适合本地区环境特点的树种,如美国黄松(*Pinus ponderosa*)和奥地利黑松(*P. nigra* var. *austriaca*)。经过20余年的引种试验,已初步掌握了上述2个树种的某些生物学特性^[1~4],在此基础上,

本文对美国黄松、奥地利黑松和地带性树种油松(*P. tabulaeformis*)的光合响应曲线、光合速率、蒸腾速率、气孔导度等生理指标以及生长过程进行了测定和对比分析。为进一步掌握美国黄松、奥地利黑松的生理生态特性,为促进扩大引种推广奠定理论基础。

^{*} 收稿日期:2002-01-29
基金项目:科技部农业科技重大项目(98-11-10-11);西北农林科技大学重点基金(2001020370)
作者简介:刘建军(1962-),男,山西夏县人,博士(后),副教授,主要从事森林生态学和城市生态学教学与科研工作。

1 引种区自然条件

引种区位于陕西省延安市,该地属黄土丘陵沟壑区暖温带大陆性季风气候,年平均气温 9.4℃,极端最高气温 39.9℃,极端最低气温 -28.5℃,≥10℃积温 3 268.4℃,1 月平均气温 -6.7℃,7 月平均气温 22.9℃。年平均降水量 550.0 mm,年蒸发量 1 585.0 mm,年平均相对湿度 62%,无霜期 180 d,年日照时数 2 445 h,最大冻土深 76 cm。土壤母质为黄土,土壤以黄绵土为主,pH8.4,土层达 100 cm 以上^[5,6]。

2 研究方法

2001 年 9 月在引种地延安树木园,运用 Licor-6400 便携式光合测定系统对美国黄松、奥地利黑松和油松的光响应曲线、光合速率、蒸腾速率、气孔导度等主要生理指标进行测定,每个指标测定 3 个重复。

测定光合响应曲线的光照强度取值为:2 000、1 800、1 600、1 400、1 200、1 000、800、600、400、300、200、100、50、0 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。测定时间为 12:00 时。

各生理指标日进程测定时间区段为:8:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00、20:00 时。

3 结果与分析

3.1 引种松原产地概况与引种适应性

美国黄松原产于北美洲,是美国西部分布最广的松树之一,分布范围从加拿大不列颠哥伦比亚南部到墨西哥北部,从太平洋海岸线到南达科他的黑山,大多分布在温凉和干旱的山坡,分布区降水量为 430~750 mm,年平均温度 5.6~10.0℃,年极端最低温度和最高温度分别为 -40.0℃和 43.3℃。该树种垂直分布最高海拔 2 600 m,在沙壤土、壤土及多石砾的土壤上均能生长^[3]。

奥地利黑松是欧洲黑松(*P. nigra*)的一个变种。主要分布在温凉的寒温带气候区,其在欧洲分布海拔为 250~1 800 m,能耐 -30℃的低温,分布区降水量 610~1 020 mm。适应于多种土壤类型和地形,可在贫瘠、钙质、沙质或石灰岩土壤上生长^[1]。

黄土高原处于暖温带半湿润气候区,属暖温带落叶阔叶林带,其气候与生态环境(气温、降水等)与美国黄松、奥地利黑松分布区接近,同时由于其占据

有广泛的自然分布区,有适应不良环境的可塑性和抗逆性,在黄土丘陵沟壑区引种有利于 2 树种的潜在适应性和高生产力的发挥^[1~3]。

3.2 光响应曲线

光响应曲线反映了植物光合速率随光照强度增减的变化规律。从图 1 可以看出,随着光照强度的增加,光合速率明显增大,当光照强度达到一定值后,光合速率基本上稳定在一定水平,即达到光饱和。由测定结果可知,美国黄松、奥地利黑松和油松的光饱和点分别为 1 400、1 200、1 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。另外从光曲线还可以看出,在相同的光照强度下,不同树种的光合速率也不同,美国黄松和奥地利黑松比较接近,而油松相对较小,3 个树种在光饱和点的光合速率(CO_2)分别为 122.153、111.786、62.550 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,说明在黄土丘陵沟壑区,美国黄松、奥地利黑松与乡土树种油松相比光合效率相对较高,积累的干物质相对较多,生长较快。

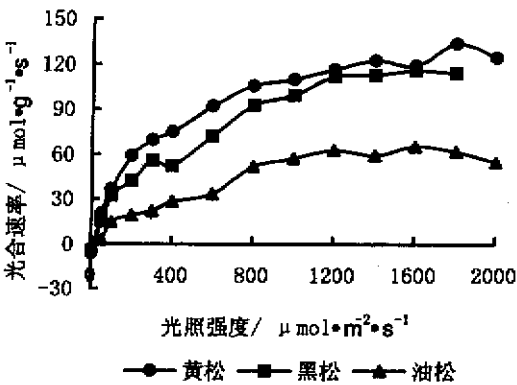


图 1 美国黄松、奥地利黑松和油松光响应曲线
Fig.1 Light curves of *Pinus ponderosa*, *P. nigra* var. *austriaca* and *P. tabulaeformis*

3.3 光合作用日进程

由美国黄松、奥地利黑松和油松 3 个树种的光合作用日进程(图 2)可以看出,由 8:00 时开始,光合速率不断增加,到 12:00 时左右,光合速率达到一个高峰,14:00 时 3 个树种光合速率均明显出现一个低谷,即“午休现象”(该现象在红松等树种光合特性研究中均有报道)^[7]。此后,至 16:00 时光合速率又明显加快,随后由于光照强度和温度逐渐降低,光合速率也逐渐下降,晚 20:00 时净光合速率开始出现负值,即呼吸产生的 CO_2 量超过了光合吸收的 CO_2 量,已没有光合产物积累。3 个树种光合作用的日进程基本相似,10:00 时以前,油松和奥地利黑松光合速率大于黄松,这可能与不同树种对温度反应的敏感程度不同有关,10:00 时以后,美国

黄松光合速率逐渐高于油松和奥地利黑松,如 12:00 时美国黄松的光合速率为 $115.742\ \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,而奥地利黑松和油松的光合速率仅相当与美国黄松的 85.58% 和 86.05%。

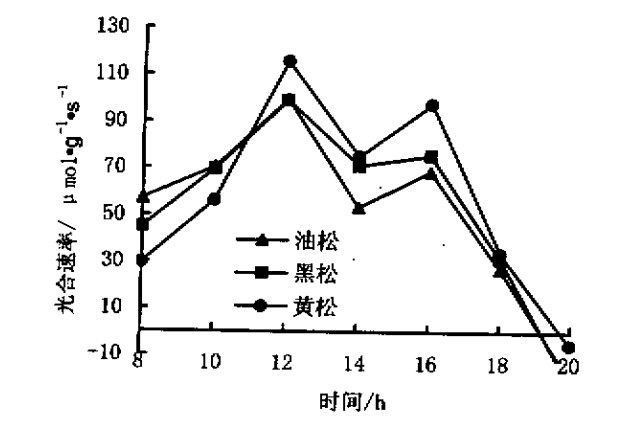


图 2 美国黄松、奥地利黑松和油松的光合日进程
Fig. 2 The diurnal variation of photosynthetic rate of *Pinus ponderosa*, *P. nigra* var. *austriaca* and *P. tabulaeformis*

3.4 蒸腾强度和气孔导度的关系

在黄五丘陵沟壑区,水分是限制树木生长的主导因素。因此,在评价树种的生理特性方面,树木的蒸腾耗水量是一个重要指标,耗水量大的树种容易引起土壤干化。对 3 个树种蒸腾强度的测定结果表明(图 3),美国黄松的蒸腾强度比奥地利黑松、油松大,如在 14:00 时,美国黄松的蒸腾速率为 $20.570\ \text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,而奥地利黑松和油松的蒸腾强度仅为美国黄松的 62.1% 和 33.7%。3 个树种蒸腾强度

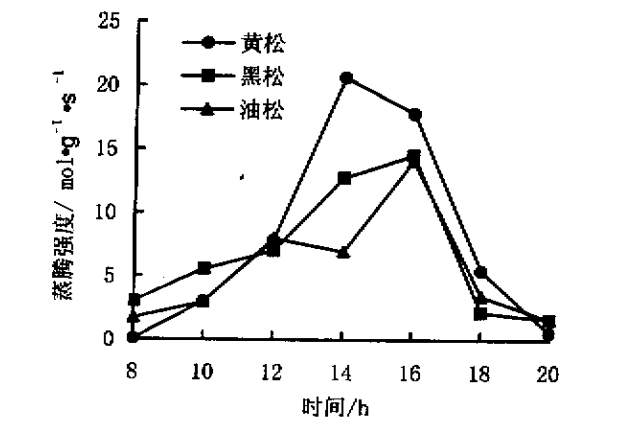


图 3 蒸腾强度日进程
Fig. 3 The diurnal variation of transpiration for *Pinus ponderosa*, *P. nigra* var. *austriaca* and *P. tabulaeformis*

的日变化规律基本一致,由 8:00 时蒸腾强度逐渐增加,美国黄松在 14:00 时蒸腾强度达到最大,奥地利黑松和油松在 16:00 时达到最大,随后又逐渐下降。说明黄松的蒸腾耗水量相对较大,这可能与美

国黄松具有较高的光合速率和较大的气孔导度有关。从气孔导度与蒸腾强度的耦合图(图 4)也可以看出它们之间的偶联关系。

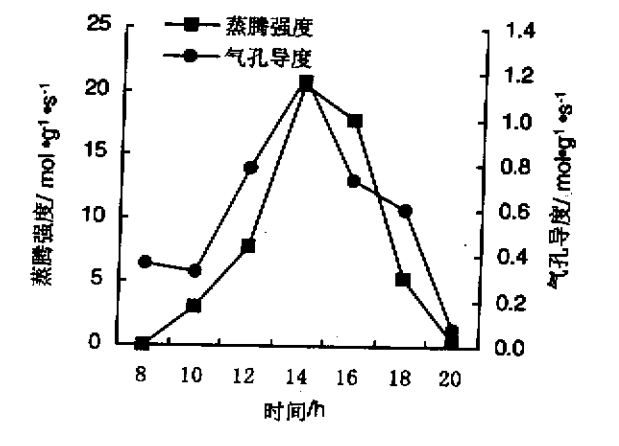


图 4 蒸腾强度与气孔导度的关系
Fig. 4 The relation between transpiration and stomata conduct

3.5 引种松和油松的生长分析

延安树木园于 1981 年从陕西省林科所长安南五台试验站引种、定植美国黄松、奥地利黑松和油松^[6]。据调查,12 年生(1985 年 10 月)美国黄松新梢生长量为 32.5 cm,奥地利黑松当年新梢达 58.0 cm,生长相对较快,而乡土树种油松的新梢生长仅为 26.0 cm。2001 年 9 月调查结果表明,黄松胸径为 28.8 cm,树高为 10.40 m,奥地利黑松胸径为 27.0 cm,树高为 9.30 m,油松胸径为 16.1 cm,树高为 8.58 m。可见,现阶段美国黄松生长远比乡土树种油松快。为了进一步比较 3 种松的生长差异,表 1 列出了黄龙山林区立地条件较好的油松优势木与美国黄松、奥地利黑松生长结果。可以看出,美国黄松、奥地利黑松的胸径和材积生长速度大于油松,特别是美国黄松表现更为突出,胸径为油松的 144.6%,单株材积为油松的 190.7%。

表 1 美国黄松、奥地利黑松和油松生长比较^[3]
Table 1 The growth of *Pinus ponderosa*, *P. nigra* var. *austriaca* and *P. tabulaeformis*

树种	树龄 /a	胸径 /cm	比例 /%	树高 /m	比例 /%	单株材积/m³	比例 /%
美国黄松	24	24.6	144.6	9.30	96.9	0.239 7	190.7
奥地利黑松	25	22.9	134.7	8.70	90.6	0.195 9	155.8
油 松	25	17.0	100	9.6	100	0.125 7	100

3.6 树高生长过程

通过对 3 个树种树高连年生长量的测定分析(图 5),可以看出,美国黄松、奥地利黑松和油松随着年龄的增加,树高连年生长量变化趋势完全相同,

但相同树龄的 3 树种树高连年生长量有一定差异,在 12 年生以前,美国黄松相对较小,而油松和奥地利黑松相对较大,如树龄为 10 年生时美国黄松树高的连年生长量仅为 20.0 cm,油松为 46.5 cm,奥地利黑松为 40.0 cm;树龄在 12~18 年生时树高连年生长量随年际间的降水、温度等条件变化在一定水平波动,各树种间差异缩小,且黄松树高连年生长量逐渐超过油松,如 16 年生美国黄松树高连年生长量达到 63.0 cm,油松为 50.5 cm,奥地利黑松为 64.5 cm;18 年生以后,美国黄松树高连年生长量超过了油松和奥地利黑松,不同树种树高连年生长量差异增大,如 20 年生美国黄松最高,达 72.5 cm,奥地利黑松为 52.5 cm,油松为 59.5 cm;到 25 年时,美国黄松树高连年生长量为 58.5 cm,奥地利黑松树高连年生长量仅为 31.5 cm。

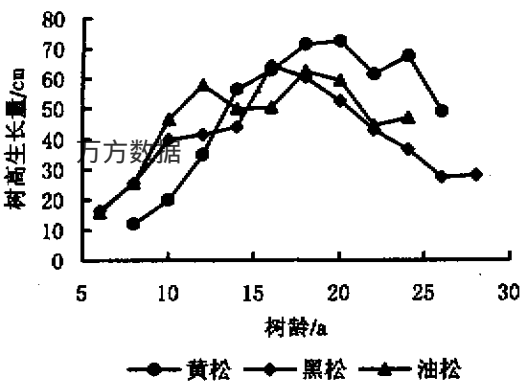


图 5 美国黄松、奥地利黑松、油松树高生长过程
Fig.5 The growth process of *Pinus ponderosa*, *P. nigra* var. *austriaca* and *P. tabulaeformis*

4 结论与讨论

美国黄松、奥地利黑松和油松都属于阳性树种,在全光照条件下生长良好,其光饱和点油松和奥地利黑松为 1 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,美国黄松为 1 400

$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。光合速率的日进程反映出 3 个树种都存在午休现象,在相同时段光合速率为:美国黄松>奥地利黑松>油松。

美国黄松在 12 年生以前,树高连年生长量小于油松和奥地利黑松,其后美国黄松的树高连年生长量逐渐超过油松和奥地利黑松。从生理特性、生长过程和目前的综合表现分析认为,美国黄松和奥地利黑松在黄土高原丘陵沟壑区生长良好,可以在本区域扩大引种推广范围,特别是美国黄松不仅树形优美,枝叶浓密,色泽翠绿,而且是一种抗火能力强的树种,在黄土丘陵沟壑区城市森林生态体系建设中应该是首选的外来树种。

应对引种栽培的美国黄松、奥地利黑松进行不同生态区域栽培和不同立地类型造林试验,以便进一步分析其生态适应性,并按生产上允许的条件进行规模造林,为后续的推广示范提供依据。

加强对其生物学、生态学和生理特性方面的进一步研究,尤其是耗水特性的测定和分析,为适地适树和提高生产力提供理论基础。

参考文献:

[1] 潘志刚,游应天. 中国主要外来树种引种栽培[M]. 北京:北京科学技术出版社,1994.
[2] 吴中伦. 国外树种引种概论[M]. 北京:科学出版社,1983.
[3] 罗伟祥,宋西德,侯琳. 黄土高原美国黄松引种生长调查研究[J]. 陕西林业科技,1998,(1):1-8,12.
[4] 薛守辉. 美国黄松引种试验[J]. 陕西林业科技,1988,(2):83-84.
[5] 屈永健,聂西省,韩虹,等. 延安市绿地系统规划[J]. 西北林学院学报,2001,16(3):57-60.
[6] 薛智德,蔺林田,韩黎明,等. 黄土丘陵沟壑区城郊林业生态网建设研究[J]. 西北林学院学报,2001,16(3):46-49.
[7] 王业蓬. 阔叶红松林[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1995.