

西北干旱区营养钵对大叶白蜡容器苗光合特性的影响

崔凯强^{1,2}, 韩 炜^{1,2*}, 窦晓静^{1,2}, 武胜利^{1,2,3}, 张 娅^{1,2}

(1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054;

2. 新疆维吾尔自治区重点实验室, 新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室, 乌鲁木齐 830054;

3. 新疆师范大学温泉校区建设指挥部办公室, 乌鲁木齐 830054)

摘 要: 通过测定有无营养钵 2 种处理下, 2 年生大叶白蜡(*Fraxinus rhynchophylla*)的光合特征指标, 以及生长量和土壤参数, 阐明容器抚育对其大树容器引种苗的影响, 以此探求营养钵使用的必要性, 为外来优良树种的引种提供参考。结果表明, 土壤方面, 营养钵组土壤体积含水量和电导率均低于无营养钵组($F=18.57, P=0.00 < 0.05$); 光合参数方面, 营养钵组各时刻的净光合速率(P_n)极显著高于无营养钵组($F=9.528, P=0.00 < 0.01$); P_n 对光合有效辐射(PAR)的定积分, 营养钵组(56.71±3.83)亦极显著高于无营养钵组(21.35±2.18), ($F=1543.46, P=0.00 < 0.01$); 生物量方面, 营养钵组也极显著高于无营养钵组(胸高: 4.35 m±0.34 m > 4.15 m±0.23 m, $F=25.83, P=0.00 < 0.01$; 胸径: 63.66 mm±15.58 mm > 55.47 mm±13.64 mm, $F=15.17, P=0.00 < 0.01$)。一天中, 营养钵组在 8:00 - 10:00 时水分利用效率(WUE)较高, 蒸腾速率(Tr)较小。综上所述, 在 2 年生大叶白蜡大树容器引种苗的培育中, 使用营养钵效果较好; 同时应在早 8:00 - 10:00 时段内增加灌溉频率。同时发现, 营养钵对表层土壤温度影响不大, 气孔限制对净光合速率影响较大。

关键词: 干旱区; 营养钵; 大叶白蜡; 容器苗; 光合特性

中图分类号: S723.133

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2016)03-0394-06

Effects of nutrition pot on photosynthetic characteristics of containerized *Fraxinus rhynchophylla* biennial seedlings in the arid region of Northwest China

CUI Kaiqiang^{1,2}, HAN Wei^{1,2}, DOU Xiaojing^{1,2}, WU Shengli^{1,2,3}, ZHANG Ya^{1,2}

(1. College of Geographic Sciences and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054;

2. Key Laboratory of Xinjiang Uygur Autonomous Region, the Laboratory of Lake Environment and Natural Resources in Arid Area, Urumqi 830054;

3. Wenquan Campus Construction Headquarter Office, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054)

Abstract: The photosynthetic characteristics, increment and soil parameters of container biennial seedlings of *Fraxinus rhynchophylla* in the nutrition pot were determined, which could provide practical guidance for tree cultivation and offer references for vegetation restoration and soil water conservation. The results showed that the nutrition pot could lower the edaphic parameters, such as soil moisture and conductivity ($F=18.57, P=0.00 < 0.05$) compared with the non-nutritional pot. On the contrary, the net photosynthetic rate (P_n) of seedlings grown in the nutritional pot was higher than that in the non-nutritional one ($F=9.53, P=0.009 < 0.05$). The P_n value integrated from 1 to 7 by photosynthetically active radiation of the seedlings in the nutrition pot (56.71±3.83) was higher than that in the non-nutrition pot (21.35±2.18). The transpiration rate and the biomass of the seedlings in the nutrition pot behaved better than those in the non-nutrition pot (plant height: 4.35 m±0.34 m > 4.15 m±0.23 m, $F=25.83, P=0.00 < 0.01$; diameter at breast height: 63.66 mm±15.58 mm > 55.47 mm±13.64 mm, $F=15.17, P=0.00 < 0.01$). In conclusion, it was beneficial to use nutrition pot in the seedlings cultivation in Urho District of

收稿日期: 2016-01-19

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金(14XJJCZH003), 国家自然科学基金—新疆联合基金重点项目子课题(U1138302-2), 新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室开放基金(XJDX0909-2012-07), 新疆师范大学博士科研启动基金(XJNUBS12147), 国家自然科学基金(41461033)和乌鲁木齐区竹柳引种技术及适应性研究共同资助。

作者简介: 崔凯强, 硕士研究生。E-mail: 1193168504@qq.com

* 通信作者: 韩 炜, 博士, 讲师。E-mail: hanweiaaa@163.com

City Karamay with an increased irrigation frequency at 8:00-10:00 am. In addition, we found that there was little difference in the topsoil temperature between the nutrition pot and non-nutrition pot, but the stomatal conductance was the most important factor for net photosynthetic rate in the two groups.

Key words: arid region; feeding block; *Fraxinus rhynchophylla*; container seedlings; photosynthetic characteristics

克拉玛依市地处新疆准噶尔盆地西北缘, 乌尔禾区是其下辖的一个行政区, 植被退化较为严重。近年来提出了建设“乌尔禾生态旅游新城”的发展规划, 园林绿化就成为其中重要的环节之一。绿化树种的来源有两种, 一种是移栽本地树种, 另一种是引入外来的优良树种。大叶白蜡(*Fraxinus rhynchophylla*)树形优美, 具有耐寒、耐旱及耐盐碱的特点^[1], 在同纬度的东北地区, 有成功引种的经验, 因此可能适宜于引种本地, 作为植被恢复和荒漠绿化的备选树种。

在西北干旱区, 众多学者研究了不同环境因子对本地树种及引种植物的影响。本地物种方面, 鞠强等^[2]研究了北疆自然条件下梭梭(夏季)光合生理特征与环境因子的关系, 结果表明, 准噶尔盆地南缘的梭梭对干旱有较强的适应能力。宁虎森等^[3]在南疆研究了梭梭和多花怪柳幼苗对不同梯度水分的光合响应, 发现相同水分梯度下, 梭梭的净光合速率与水分利用效率均大于多花怪柳。陈亚鹏等^[4]研究发现, 塔河下游的阿拉干地区的胡杨对干旱和一定程度的高温胁迫有较强的适应能力。李怡等^[5]在甘肃研究了自然条件下成年怪柳光合特性, 发现净光合速率与某些生态因子存在定量关系。张锦春等^[6]人对梭梭、白刺的光合生理进行了研究, 并阐述了二者的适应性。引种植物方面, 关越等^[7]在宁夏地区比较了葡萄引入种和本地种的光合特性, 发现营养生长期引入种表现出更好的适应能力。李博等^[8]在东北地区研究外来种与当地种杂交后产生的子代适应性中, 发现当地水曲柳和新疆种源的大叶白蜡杂交产生的第一代子代, 低度的干旱胁迫会促使其具有更高的净光合速率。不同环境因子对大叶白蜡作为引入物种的影响, 也有研究文献可见^[9-12]。李宏等^[9]研究了水、盐胁迫对 3 种新疆造林种子萌发的影响, 发现较高的土壤含水量对大叶白蜡种子发芽率有正效应, 而土壤含盐量的增加会对其产生抑制效应。吴永波等^[10]发现大叶白蜡、小叶白蜡和绒毛白蜡 3 个白蜡种均具有较强的耐盐性。闫兴富等^[11]在宁夏地区对不同光强下大叶白蜡幼苗生长量进行比较, 发现 55.44% 的全光照光合有效辐射下生长最好。路静^[12]研究了大叶白蜡的适移栽季

节及方法。

综上所述, 众多学者对干旱区本地种、引入种适应性方面研究较多, 为干旱区植物幼苗培育提供了一定的借鉴, 但在绿洲城市园林绿化中, 研究营养钵对大叶白蜡生长影响的方面较少, 涉及到用气体交换参数等指标表征的影响方面, 更是少见文献。而这在生产实践操作中, 适时判定某种育苗方式对植株的影响又尤为重要。因此, 本研究在克拉玛依市乌尔禾区设定有、无营养钵的对照实验, 利用 Li-6400XT 便携式气体交换系统, 测定其中大叶白蜡光合参数, 辅以植株生长量及土壤参数等数据, 从不同角度探求营养钵对其产生的影响, 以期为大叶白蜡在西北干旱区的引种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验地概况

实验地位于克拉玛依市乌尔禾区(85°12'~86°02'E, 45°42'~46°15'N), 该区属典型大陆性北温带干旱气候区; 日照充足, 日照时数 2637 h 以上; 年平均气温 8.7°C, 全年 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温为 3968.1°C; 干旱少雨, 年平均降水量 108.9 mm, 年蒸发量 3016.4 mm, 蒸降比高达 27.69; 多年平均空气相对湿度 48%; 无霜期 160 d 左右; 年平均风速 2.2 m·s⁻¹; 土壤以灰棕漠土为主, 盐渍化程度严重; 地下水矿化度大约为 1~10 g·L⁻¹。受地理位置和气候因素影响, 绿化树种较少, 林地面积较小, 森林覆盖率较低, 生态环境较为脆弱。实验样地为野外苗圃, 光照充足, 土壤质地为砂质壤土, 轻度盐渍化, 实验地每 2 d 滴灌 1 次, 每株大约滴灌 15 L 水, 滴灌水为当地地下约 3 g·L⁻¹ 的矿化度咸水。

1.2 材料

实验材料为 2 年生的大叶白蜡大树容器健康引种苗, 株高约 4.0 m, 胸径约 51 mm。2014 年春季移栽时分别做有营养钵和无营养钵处理, 施以相同基质(牛粪), 每组 3 棵。营养钵由塑料颗粒加工制成, 规格: 底面直径 100 cm, 高 60 cm。

1.3 方法

2015 年 7 月 13—19 日, 自然光照下, 选择长势一致的 2 年生大叶白蜡大树容器苗健康幼株, 用 Li-6400XT 便携式气体交换系统(Li-COR, USA)测

定,配 2 cm×3 cm 标准透明叶室,每个处理选取 5 株生长良好的中部外围成熟功能叶进行测定,每片叶测定 3 次,分析数据取算数平均值。Li-6400XT 便携式气体交换系统直接输出参数:净光合速率(P_n , $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$);胞间 CO_2 浓度(C_i , $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)、气孔导度(G_s , $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、蒸腾速率(T_r , $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)等光合生理参数。光合有效辐射(PAR , $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、温度(T_a , $^{\circ}\text{C}$)、大气 CO_2 浓度(C_a , $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)、大气相对湿度(RH , %)等环境因子参数。计算参数:叶片水分利用效率(WUE , %),水分利用效率(WUE)=净光合速率(P_n)/蒸腾速率(T_r)。使用 HH2 型土壤湿度计 (Soil moisture probe type SMS2 and meter type HH2, Israel) 同步在所选样株根部土壤深度 5 cm 处测定土壤 3 个参数,每个样株测定 3 次,分析数据取算数平均值。HH2 型土壤湿度计直接输出参数:土壤体积含水量(%),土壤电导率($\text{ms}\cdot\text{m}^{-1}$)、土壤温度($^{\circ}\text{C}$)。

使用 Microsoft Excel 2007 进行数据处理及作图, SPSS 17.0 进行单因素方差分析(One-way ANOVA), Mathematica 5.2 进行数值积分。

2 结果与分析

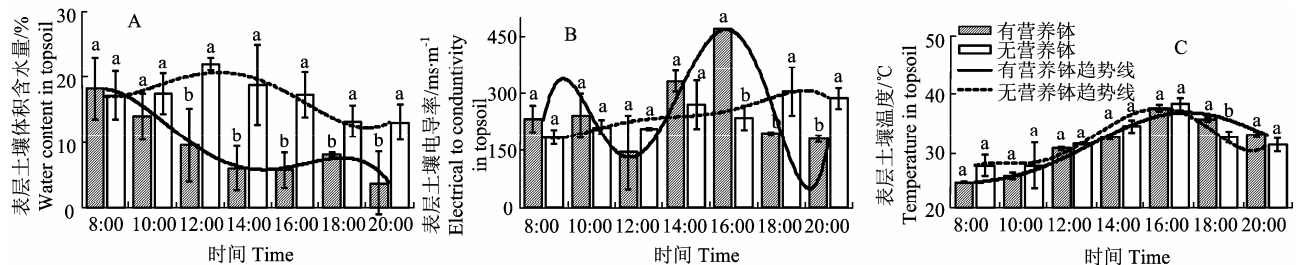
2.1 营养钵对表层土壤 3 个参数的影响

实验前已滴灌 1 次,土壤初始体积含水量为(18 ± 0.05)%。一天中,营养钵组大叶白蜡表层土壤

体积含水量的均值显著低于无营养钵组($F=18.57$, $P=0.00 < 0.05$),各个时刻的值如图 1 A 所示。可以看出,自 12:00 开始,营养钵组的表层土壤体积含水量显著低于无营养钵组。说明营养钵的存在造成了表层土壤疏松,切断了“毛管通道”,使得深层土壤水分向上的运输中断,表层土壤水分缺少深层补给,致其含水量迅速降低;无营养钵组土壤毛管畅通,致土壤水分连续蒸散,就会导致深层土壤含水量下降。而 2 年生大叶白蜡幼苗根系大多分布在 40~60 cm 土壤层,营养钵的存在使得表层土壤毛管切断,减少了深层土壤的水分散失,有利于植物生长。

土壤电导率反映了土壤的总盐含量^[13]。从趋势线看,无营养钵组的表层土壤电导率高于营养钵组(图 1 B),尤以傍晚 18:00, 20:00 时最为明显。说明无营养钵组的表层土壤总盐含量较高,此部分盐分均来自于深层土壤盐分的表聚作用而致。因此,推断营养钵组的深层土壤盐分较高,并且从土壤电导率数值上看,尚未达到盐渍化程度^[14-16],在此前提下,盐分含量越高,则在一定程度上表明土壤溶液中养分含量越丰富,越有利于植物的吸收。

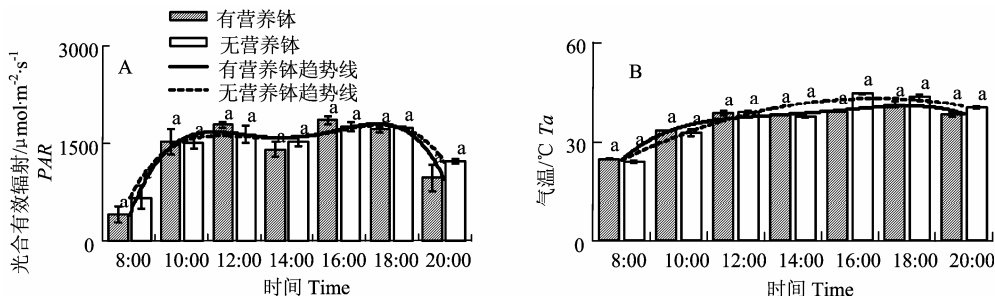
两组处理的表层土壤温度没有显著差异($F=0.01$, $P=0.92 > 0.05$, 图 1 C),说明营养钵对表层土壤温度影响不明显。



不同字母表示差异性显著($P=0.05$) Different letters of a, b and c indicate significant difference at the 0.05 level

图 1 表层土壤体积含水量、电导率、土壤温度日变化

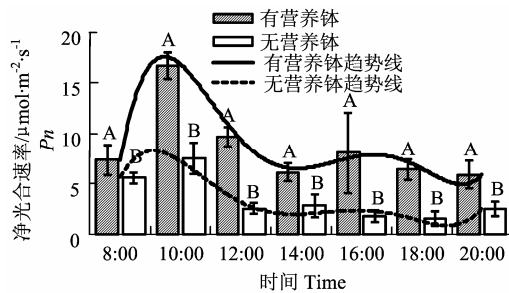
Figure 1 Diurnal variations of water content, electrical conductivity and temperature in topsoil, respectively.



不同字母表示差异性显著($P=0.05$) Different letters indicate significant difference at the 0.05 level

图 2 环境因子日变化

Figure 2 Diurnal variations of environmental factors, PAR and T_a



不同字母表示差异极显著($P=0.01$)

Different letters indicate significant difference at the 0.01 level
图 3 不同处理下大叶白蜡净光合速率(P_n)日变化的动态比较

Figure 3 Dynamic diurnal variations of net photosynthetic rate (P_n) of *Fraxinus rhynchophylla* seedlings with different treatments

2.2 营养钵对大叶白蜡光合参数的影响

2.2.1 环境因子 环境因素中, 2 组处理的光合有效辐射(PAR)没有显著差异($F=0.06, P=0.8 > 0.05$; 图 2 A), 都呈现出先增加后降低的趋势。14:00 时由于

出现少云天气, PAR 值略微降低, 之后升高, 在 16:00 时达到最大值。气温(T_a)同样表现为先增加后降低的趋势(图 2B), 且两组处理之间差异不显著($F=0.13, P=0.72 > 0.05$), 由于 14:00 时 PAR 值降低, 导致其气温也略微下降, 在 16:00 时又有所回升, 并达到最大值。表明 P_n 与 T_a 具有正相关关系, 且测定时 2 组实验材料所处的环境条件基本一致。

2.2.2 净光合速率 净光合速率(P_n)是一个重要的光合效率指标。单因素方差分析结果表明, 2 组(有、无营养钵的大叶白蜡)在 8:00, 10:00, ..., 20:00 时刻 P_n 值差异均达到极显著水平(图 3), 营养钵组一天内的 P_n 值均高于无营养钵组。按照 P_n 值对 PAR 拟合形成的回归方程(表 1), 计算从 1 至 7 定积分可得其一天的生物累积量, 两组实验处理结果差异极显著($F=1543.46, P=0.00 < 0.01$), 从而证明, 营养钵在提高光合效率方面具有优势性, 有利于 2 年生大叶白蜡生长。

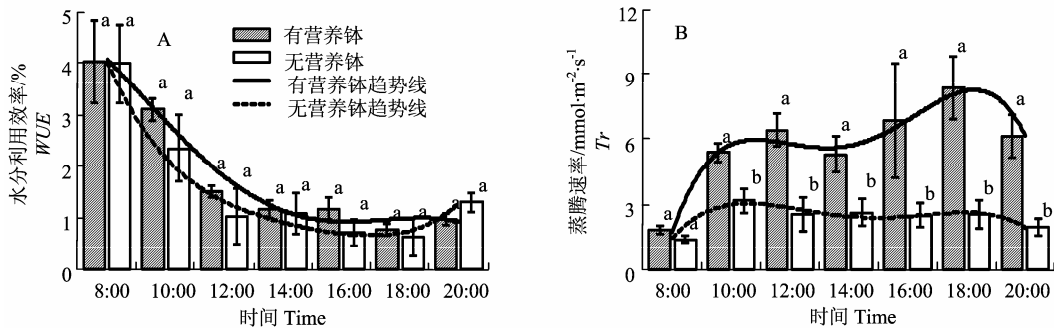
表 1 净光合速率回归方程

Table 1 Regression equations of net photosynthetic rates

处理 Treatment	回归方程 Regression equation	相关系数 R^2	积分值 Integrated value
有营养钵 Treated with feeding block	$y=0.133x^5-2.9142x^4+24.095x^3-92.152x^2+156.88x-78.69$	0.99	56.71 ± 3.83^A
无营养钵 Control without feeding block	$y=0.0695x^5-1.4571x^4+11.48x^3-41.548x^2+65.601x-28.507$	0.94	21.35 ± 2.18^B

注: 变量 y 代表 P_n , x 代表 PAR , 不同字母表示差异极显著($P=0.01$)。

Note: The letter y represents P_n , and x does PAR . Different letters indicate significant difference at the 0.01 level.



不同字母表示差异性显著($P=0.05$) Different letters indicate significant difference at the 0.05 level

图 4 不同处理下大叶白蜡水分利用效率(WUE)和蒸腾速率(Tr)日变化的动态比较

Figure 4 Diurnal variations of water use efficiency (WUE) and transpiration rate (Tr) of *Fraxinus rhynchophylla* seedlings under different treatment

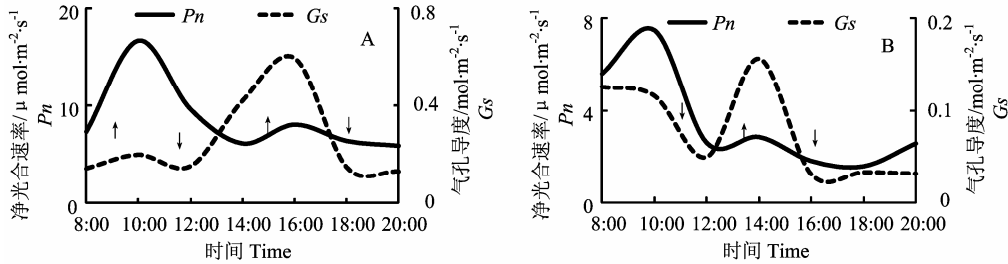
2.2.3 水分利用效率与蒸腾速率 水分利用效率(WUE)是衡量植物是否高效利用水分的一种指标。两组处理的水分利用效率没有显著差别($F=0.73, P=0.12 > 0.05$, 图 4 A), 总体上都呈现出 8:00—10:00 时较高, 10:00—18:00 时迅速降低, 18:00—20:00 时又略微升高的趋势。说明大叶白蜡这一物种具有

较高的水分利用效率, 可以引种到西北干旱区, 作为植被恢复和水土保持的优选树种。且一天中, 在早晨时段内水分利用效率较高, 因此引种后, 在使用营养钵培育的同时, 可在此时段内增加灌溉频率, 以促进幼苗较快生长。

蒸腾速率(Tr)也是判断植物内稳性的标准之

一。营养钵组大叶白蜡的蒸腾速率总体上与无营养钵组差异显著($F=18.12$, $P=0.00<0.05$), 各个时刻值如图 4 B 所示, 8:00 时由于光合有效辐射值和气温值较低, 两组处理此时的 Tr 值没有显著差异, 随着 PAR 值逐渐升高, 营养钵组的 Tr 值在 10:00—

20:00 时段内显著高于无营养钵组, 这可能是营养钵影响了大叶白蜡根系生长和水分吸收所导致。营养钵组的大叶白蜡蒸腾速率较高, 植株高、枝叶茂盛, 减少了太阳对地面的辐射及地表热量反射, 对西北干旱区局部气候改善具有重要意义。



A 代表营养钵组, B 代表无营养钵组, 箭头表示相同的变化趋势

The capital letter A indicates that the *Fraxinus rhynchophylla* seedlings with feeding block, and the capital letter B means control without feeding block. The arrows indicate the similar tendency

图 5 气孔导度(Gs)与净光合速率(Pn)日变化

Figure 5 Diurnal variations of stomatal conductance (Gs) and net photosynthetic rate (Pn)

2.2.4 气孔导度 气孔是植物进行气体交换的通道, 它的开闭程度决定着气体交换的总量^[17]。两组实验材料的气孔导度都呈现出“双峰”趋势, 净光合速率也呈现大致相同的变化趋势(图 5)。营养钵组大叶白蜡(图 5 A)的气孔导度在 10:00 时达到第一个峰值(0.21 ± 0.01) $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 在 16:00 时达到第二峰值(0.59 ± 0.32) $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 净光合速率同步在 10:00 时达到第一个峰值(16.73 ± 1.26) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 在 16:00 时达到第二峰值(8.09 ± 3.99) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 说明二者之间具有时间上的同步性, 无营养钵组大叶白蜡(图 5 B)的 Gs 和 Pn 值也体现出这种同步性(二者在 10:00 时和 14:00 时同步达到峰值)。

表 2 不同处理下大叶白蜡生长量

Table 2 The growth of *Fraxinus rhynchophylla* under different treatments

处理	株高/m	胸径/mm
Treatment	Plant height	Diameter at breast height
有营养钵	4.35±0.34 ^A	63.66±15.58 ^A
无营养钵	4.15±0.23 ^B	55.47±13.64 ^B

注: 不同字母表示差异极显著($P<0.01$)。

Note: Different letters indicate significant difference at the 0.01 level.

相关分析结果可知, 两组实验材料的净光合速率与气孔导度呈现较强的正相关关系($R^2_{\text{有}}=0.91$ 和 $R^2_{\text{无}}=0.93$), 即无论有无营养钵, 2 年生大叶白蜡大树容器引种苗的气孔导度都对净光合速率产生影响。说明实验时, 环境因子对大叶白蜡的胁迫程度未达到其阈值上限, 因此表现为气孔限制。

2.3 营养钵对大叶白蜡幼苗生长量的影响

通过对不同处理下大叶白蜡幼苗株高、胸径的测量和分析表明(表 2), 营养钵组株高极显著高于无营养钵组($F=25.83$, $P=0.00<0.01$); 营养钵组胸径极显著粗于无营养钵组($F=15.17$, $P=0.00<0.01$), 说明营养钵的使用在一定程度上对 2 年生大叶白蜡的生长有较好的促进作用。

3 讨论与结论

营养钵作为一种育苗方式, 众多学者在其他植物品种的育苗实验上, 已经证明了其优势性。王壮伟等^[18]在江苏地区研究了营养钵育苗对草莓雪蜜的生长影响, 发现使用营养钵育苗时易于形成壮苗, 株径较大, 可显著提高早期产量; 钱伟民等^[19]在其实验中也证明了营养钵对草莓这种草本植物育苗的正效应, 本实验材料为 2 年生大叶白蜡, 属落叶乔木, 结果同样说明营养钵对其生长有较大影响。张喜林等^[20]在东北地区通过实验发现, 营养钵的使用可以提高玉米移栽的成活率, 耿端阳等^[21]进一步的确定了玉米育苗的最适营养钵体积与形状, 这为本实验对营养钵规格的后续研究提供了思路。万新建等^[22]在江西地区研究了不同育苗方式对苦瓜幼苗的生长影响, 发现营养钵组的壮苗指数显著高于穴盘组及营养基质块组, 本文的研究指标中没有涉及到壮苗指数, 但有类似的营养钵有利于幼苗生长的结论。田英才等^[23]在山东地区研究了不同育苗方式对棉花根系发育的影响, 发现在不同时期, 基质育苗根系发育状况优于营养钵育苗及直播育苗, 因此

建议基质育苗法, 这与本实验结论不同, 原因可能是因为本研究的实验材料为 2 年生大叶白蜡, 根系发育较完全。推测在大叶白蜡的培育初期, 应该使用更好的基质培养, 以利于根系的迅速发育。

在植物对不同环境条件的自我适应和调节方面, 常常表现为净光合速率对不同限制因子的响应。郑国琦等^[24]在宁夏地区研究了枸杞在盐胁迫下的光合限制因子, 发现 NaCl 溶液浓度在 0.6% 以下时其光合作用表现为气孔限制, 高于 0.6% 时表现为非气孔限制, 说明了气孔限制出现的环境阈值, 本实验所处的土壤含盐率约为 $4.8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ (换算后约为 0.48%), 说明本实验中的盐分含量没有达到使得大叶白蜡产生非气孔限制的上限, 也印证了大叶白蜡对于盐碱的强耐受性, 可以在乌尔禾区进行引种推广。王孝威等^[25]在山西地区研究了红星幼树在水分胁迫下的光合限制因子, 发现轻度胁迫时其光合作用表现为气孔限制, 中度与重度胁迫时表现为非气孔限制。本研究发现大叶白蜡幼苗在本实验条件下也具有相似的规律, 这可能说明了当环境因子没有超出植物的耐受阈值时, 一般表现为气孔限制。

通过对照实验初步证明了营养钵这种育苗方式对大叶白蜡引种容器苗的优势性, 因此建议在 2 年生大叶白蜡容器苗的培育中使用营养钵, 同时应在早 8:00—10:00 时增加灌溉频率。另外发现, 气孔导度是 2 年生大叶白蜡净光合速率的主要限制因素, 推测其耐受阈值较大, 适宜于干旱区移植培育。此外, 在后续实验中, 将进一步研究 2 年生大叶白蜡育苗最适宜的营养钵规格及基质, 为大叶白蜡在西北干旱区的引种育苗提供参考。

参考文献:

- [1] 晏增, 翟晓巧, 马永涛, 等. 白蜡树净光合速率及其影响因子日变化研究[J]. 河南林业科技, 2014, 34(4): 1-3; 18.
- [2] 鞠强, 贡璐, 杨金龙, 等. 梭梭光合生理生态过程与干旱环境的相互关系[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(4): 201-204.
- [3] 宁虎森, 吉小敏, 高明月, 等. 梭梭和多花怪柳幼苗光合特性对不同水分梯度的响应[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(13): 7744-7747.
- [4] 陈亚鹏, 陈亚宁, 李卫红, 等. 干旱环境下高温对胡杨光合作用的影响[J]. 中国沙漠, 2009, 29(3): 474-479.
- [5] 李怡, 刘发民, 宋耀选, 等. 怪柳叶片光合速率日变化特征的研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(18): 7559-7560; 7563.
- [6] 张锦春, 赵明, 张应昌, 等. 灌溉植被梭梭、白刺光合蒸腾特性及影响因素研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(1): 70-76.
- [7] 关越, 李熙萌, 李征珍, 等. 宁夏地区引种葡萄的光合适应性研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2013, 35(4): 571-579.
- [8] 李博, 詹亚光, 徐云刚, 等. 干旱胁迫下水曲柳×大叶白蜡 F₁ 的光合特性研究[J]. 西北植物学报, 2012, 11(32): 2313-2320.
- [9] 李宏, 程平, 郑朝晖, 等. 盐旱胁迫对 3 种新疆造林树木种子萌发的影响[J]. 西北植物学报, 2011, 31(7): 1466-1473.
- [10] 吴永波, 薛建辉. 盐胁迫对 3 种白蜡树幼苗生长与光合作用的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, 26(3): 19-22.
- [11] 闫兴富, 方苏, 周立彪, 等. 大叶白蜡幼苗生长对不同光强遮荫处理的响应[J]. 西北林学院学报, 2010, 1(25): 20-23; 29.
- [12] 路静. 浅谈大叶白蜡树不同季节的移植[J]. 新疆农业科技, 2008, 1(5): 47-47.
- [13] 李建国, 濮励杰, 朱明, 等. 土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J]. 地理学报, 2012, 67(9): 1233-1245.
- [14] 蔡阿兴, 陈章英, 蒋正琦, 等. 我国不同盐渍地区盐分含量与电导率的关系[J]. 土壤, 1997, 1(1): 54-57.
- [15] 刘广明, 杨劲松. 土壤含盐量与土壤电导率及水分含量关系的试验研究[J]. 土壤通报, 2001, 32(S0): 85-87.
- [16] 尹建道, 孙佳杰, 郝志强, 等. 天津滨海地区土壤含盐量与电导率的关系[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(30): 16882-16883; 16890.
- [17] 姚庆群, 谢贵水. 干旱胁迫下光合作用的气孔与非气孔限制[J]. 热带农业科学, 2005, 25(4): 84-89.
- [18] 王壮伟, 赵密珍, 袁骥, 等. 定植期及营养钵育苗对草莓雪蜜生长结果的影响[J]. 西南农业学报, 2011, 24(6): 2325-2328.
- [19] 钱亚明, 赵密珍, 吴伟民, 等. 营养钵育苗对丰香草莓生长结果的影响[J]. 江苏农业科学, 2009(2): 159-160.
- [20] 张喜林, 吴永英, 周宝库. 营养钵育苗移栽对玉米增产效果的影响[J]. 玉米科学, 2002, 10(3): 69-70.
- [21] 耿端阳, 张铁中, 娄秀华, 等. 玉米育苗营养钵形状和容积对育苗效果的影响[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(6): 29-32.
- [22] 万新建, 张景云, 关峰, 等. 不同育苗方式对苦瓜育苗效果的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(10): 97-100.
- [23] 田英才, 安崇冠, 翟登玉, 等. 不同育苗方式对棉花根系生长发育及其结构的影响[J]. 山东农业科学, 2011, 2(2): 47-48.
- [24] 郑国琦, 许兴, 徐兆楨, 等. 盐胁迫对枸杞光合作用的气孔与非气孔限制[J]. 西北植物学报, 2002, 6(22): 75-79.
- [25] 王孝威, 段艳红, 曹慧, 等. 水分胁迫对短枝型果树光合作用的非气孔限制[J]. 西北植物学报, 2003, 9(23): 1609-1613.