

# 东北地区四种常见灌木的光合和蒸腾特性研究

苏 欣, 张 雨, 蔡英杰, 周蕴薇

(东北林业大学 园林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘 要:**以东北地区常见的园林绿化灌木东北连翘(*Forsythia mandshurica*)、毛樱桃(*Cerasus tomentosa*)、小叶丁香(*Syringa microphylla*)及东北山梅花(*Philadelphus schrenkii*)为研究对象,于2013年8月使用Li-Cor 6400便携式光合测定系统对其光合蒸腾特性进行了研究,并对净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)及其相关生理生态因子进行了相关性分析。结果表明:毛樱桃、小叶丁香的Pn、Tr日变化规律表现为单峰曲线;东北连翘Pn日变化呈单峰曲线,Tr日变化呈双峰曲线,有“午休”现象;东北山梅花Pn的日变化呈双峰曲线,出现“午休”现象,Tr日变化呈单峰型。影响4种灌木的Pn、Tr的主要生理因子是气孔导度(Cond)、胞间CO<sub>2</sub>浓度(Ci),Pn、Tr与Cond呈极显著正相关( $P<0.01$ ),与Ci均呈显著负相关( $P<0.05$ )。光合蒸腾速率与光合有效辐射(PAR)、空气CO<sub>2</sub>浓度(Ca)、空气相对湿度(RH)等环境因子存在紧密联系,PAR是促进Pn的主要环境因子,而Ca常常成为主要的限制因素。

**关键词:**净光合速率;蒸腾速率;日变化

**中图分类号:**S 793.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)04-0071-06

东北连翘(*Forsythia mandshurica*)、毛樱桃(*Cerasus tomentosa*)、小叶丁香(*Syringa microphylla*)及东北山梅花(*Philadelphus schrenkii*)4种灌木因具有适应性强,抗性强,开花早、花期长、观赏性好等优点被广泛应用于东北地区的园林绿化及水土保持工程。过去对这4种灌木的研究,主要从繁殖养护、抗性生理、药用研究等方面做了较多工作。目前对相关属下种间植物的光合蒸腾特性研究较多<sup>[1-4]</sup>,而对适于东北地区绿化的该4种灌木光合蒸腾特性方面的研究鲜见报道。光合作用既是植物生长发育好坏和第一生产力高低的决定因素,又是植物栽培管理、合理配植的核心内容。因此,现以东北连翘、毛樱桃、小叶丁香及东北山梅花为研究对象,就4种灌木光合作用基本规律及蒸腾与生理生态因子间的关系进行研究,以了解4种灌木的生长规律及其对环境变化的适应性,以期东北地区城市绿化灌木选择应用、合理配植及栽培养护提供一定理论依据。

**第一作者简介:**苏欣(1990-),女,内蒙古巴市人,硕士,研究方向为园林植物应用。E-mail:sx129@sina.cn.

**责任作者:**周蕴薇(1974-),女,吉林九台人,博士,教授,博士生导师,现主要从事园林植物应用等研究工作。E-mail:dlzhyw@126.com.

**基金项目:**林业公益性行业科研专项东北黑土区林业生态工程构建技术集成与示范资助项目(201404202)。

**收稿日期:**2014-11-06

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验地位于黑龙江省哈尔滨市东北林业大学实验林场(东经127°35′~127°39′,北纬45°42′~45°44′),年平均气温约为0.7~5.9℃,年平均降水量400~650 mm,平均海拔高度136~140 m,属季风寒温带,四季分明。夏季短暂而炎热,长日照达16 h以上,光照资源较为充足,最热月份为7月,平均温度18~20℃,冬季寒冷漫长,温度较低。

### 1.2 试验材料

在东北林业大学苗圃内选择长势良好、无病虫害且为同期栽植的5年生东北连翘、毛樱桃、小叶丁香及东北山梅花为试验材料进行研究。

### 1.3 试验方法

2013年8月中旬选择晴朗、无风的天气使用便携式光合仪(Li-Cor 6400)对4种灌木进行光合蒸腾作用日变化测定,测定系统未进行温度、湿度以及CO<sub>2</sub>等设定以反映自然情况下植物光合蒸腾特性,气体流速设为500 mmol/s。试验时间为8:00—18:00,每隔2 h记录1次数据。每种植物测定3株,测定时选择树冠外围光照充足、顶芽下第3~4片完全展开的功能叶,每株植物选择3~5个叶片进行测定。进行光合测定时尽量保持叶室与自然光线呈垂直角度以减少仪器遮挡对试验结果的影响。测定的主要参数有:净光合速率(Pn,  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、蒸腾速率

( $Tr, \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、气孔导度( $Cond, \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i, \mu\text{mol}/\text{mol}$ )、叶面饱和蒸汽压亏缺( $V_{pdl}, \text{kPa}$ )等生理指标和叶片温度( $T_l, ^\circ\text{C}$ )、光合有效辐射( $PAR, \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、空气温度( $T_a, ^\circ\text{C}$ )、空气相对湿度( $RH, \%$ )、空气  $\text{CO}_2$  浓度( $Ca, \text{mmol}/\text{mol}$ )等环境指标。根据光合蒸腾参数计算气孔限制值和水分利用效率。计算公式: $Ls=1-C_i/Ca$ <sup>[5]</sup>,  $WUE=Pn/Tr$ <sup>[6]</sup>。

#### 1.4 数据分析

基础数据采用 Excel 2003 软件进行处理,相关性分析均采用 SPSS 17.0 软件进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 环境因子日变化

由图 1 可知,光合有效辐射( $PAR$ )和大气温度( $T_a$ )日变化呈单峰曲线,8 月光照强度较大,8:00—14:00 光合有效辐射( $PAR$ )均保持在  $1\ 250 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以上,12:00 达到一天中峰值,为  $1\ 788 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,此后光合有效辐射逐渐下降,14:00 后迅速下降。气温( $T_a$ )随着光合有效辐射( $PAR$ )的变化呈现出单峰曲线的变化特征,同样在 12:00 出现最大值,为  $34.8^\circ\text{C}$ ,14:00 后迅速下降。空气相对湿度( $RH$ )和大气  $\text{CO}_2$  浓度( $Ca$ )日变化均呈倒钟形,大气  $\text{CO}_2$  浓度 8:00 最高,随后因植物光合作用的消耗  $\text{CO}_2$  浓度下降,12:00 降至最低值,相对湿度( $RH$ )与气温( $T_a$ )的变化趋势相反。

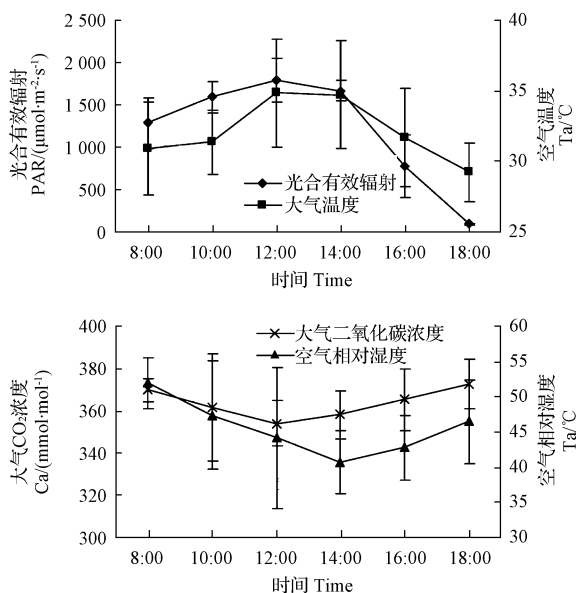


图 1 光合有效辐射、空气温度、空气相对湿度、大气二氧化碳浓度日变化及标准差

Fig. 1 Diurnal changes and standard deviations of photosynthetically active radiation, air temperature, air relative humidity and air  $\text{CO}_2$  concentration

### 2.2 4 种灌木光合蒸腾作用日变化

2.2.1 4 种灌木光合作用重要参数日变化 由图 2 可知,东北连翘、毛樱桃、小叶丁香净光合速率( $P_n$ )的日变化规律相似, $P_n$  日变化曲线为单峰曲线,峰值出现的时间均为 10:00,大小依次为  $6.65, 10.97, 14.44 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。东北山梅花净光合速率( $P_n$ )的日变化则成双峰曲线,2 个峰值分别出现在 10:00 和 14:00 左右,其值分别为  $9.95, 6.94 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。4 种灌木在 8:00 净光合速率( $P_n$ )较高,并且在 10:00 左右迅速上升,在 16:00 以后又迅速下降。从整体走势来看,小叶丁香光合速率高于毛樱桃和东北山梅花,东北连翘净光合速率( $P_n$ )保持在较低水平。经计算小叶丁香日均净光合速率( $P_n$ )为  $9.81 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,毛樱桃和东北山梅花日均净光合速率( $P_n$ )分别为  $8.06, 6.17 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,而东北连翘日均净光合速率( $P_n$ )只有  $3.79 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。东北连翘、毛樱桃、东北山梅花胞间  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ )浓度略呈“U”型变化,由于晚上的呼吸作用,8:00 胞间  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ )较高,之后因植物光合作用增强,消耗的  $\text{CO}_2$  增多而呈不同程度的下降趋势,12:00—14:00 波动幅度较小,14:00—16:00 东北连翘、毛樱桃胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )呈回升趋势。小叶丁香胞间  $\text{CO}_2$  浓度出现 2 个低谷,分别出现在 10:00、16:00。

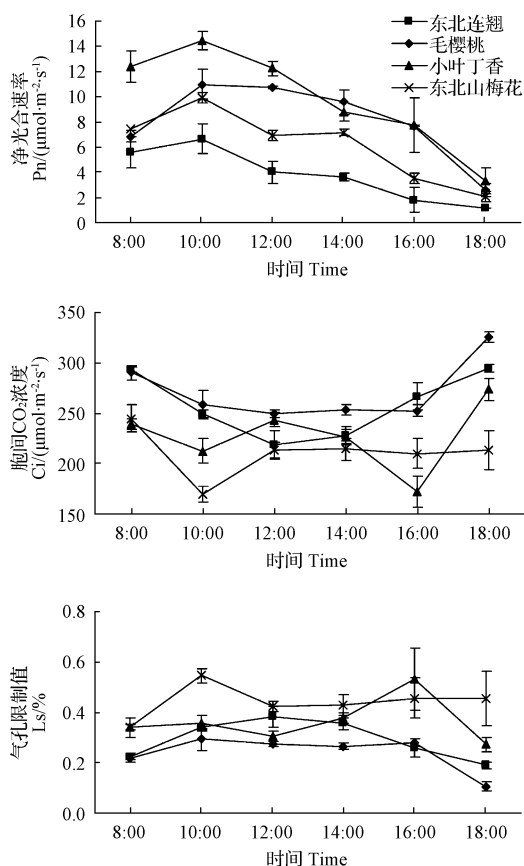


图 2 4 种灌木光合作用重要参数日变化

Fig. 2 Diurnal changes of important parameters in photosynthesis of 4 shrubs

根据 Farquhar 等<sup>[7]</sup>的观点,当净光合速率(Pn)和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)变化方向相同,且气孔限制值(Ls)增大时,可认为净光合速率的下降主要由气孔因素引起;而净光合速率(Pn)和胞间 CO<sub>2</sub> (Ci)变化方向相反,气孔限制值(Ls)减小,则说明净光合速率下降由非气孔因素引起。该研究中东北连翘 10:00—12:00、小叶丁香 12:00—16:00、毛樱桃和东北山梅花 14:00—16:00 净光合速率降低是由气孔因素引起的,即胞间 CO<sub>2</sub> 供应不足是造成净光合速率下降的主要原因;东北连翘 12:00—14:00 下降是由非气孔因素引起的,此时净光合速率降低可能是由于午间高光照和高温引起叶肉细胞中酶活性降低、羧化能力下降,导致植物叶肉细胞同化能力下降。

2.2.2 4 种灌木蒸腾作用重要参数变化 由图 3 可知,4 种灌木气孔导度(Cond)日间变化规律与蒸腾速率(Tr)日间变化规律均较一致。从 8:00 开始,随着气温(Ta)的升高,气孔导度(Cond)逐渐增大,叶片饱和蒸汽压亏缺(Vpdl)逐渐升高,小叶丁香和东北山梅花的蒸腾速率(Tr)急剧上升,在 10:00 达到最大值,分别为 7.68、7.07 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,10:00 以后因气孔逐渐关闭,小叶丁香、东北山梅花气孔导度大幅下降,蒸腾速率(Tr)也随之下降;毛樱桃 8:00 蒸腾速率(Tr)和叶片饱和蒸汽压亏缺(Vpdl)较高,在 12:00 分别达到峰值 8.94 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>和 3.70 kPa。东北连翘蒸腾速率日变化则呈双峰型,2 个峰值分别出现在 10:00 和 14:00 左右,其值分别为 4.42、3.31 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。14:00 左右 Vpdl 呈渐减趋势,16:00 后 4 种灌木的蒸腾速率(Tr)随气孔导度(Cond)的降低缓慢下降,到 18:00 蒸腾速率(Tr)的值降至 1 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>左右。4 种灌木中毛樱桃蒸腾速率(Tr)日间均维持在较高水平,日均蒸腾速率为 5.95 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,而东北连翘和东北山梅花日间蒸腾速率(Tr)较低,分别为 3.16、3.50 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。4 种灌木气孔导度日变化曲线均呈单峰型,东北连翘、小叶丁香、东北山梅花气孔导度峰值均出现在 10:00,而毛樱桃的峰值出现在 12:00。

水分利用效率(WUE)是由植物的 Pn 和 Tr 二方面决定的,即消耗单位重量的水植物所固定的 CO<sub>2</sub> 量。毛樱桃、小叶丁香、东北山梅花 WUE 日变化呈不明显的“双峰”曲线,小叶丁香和东北山梅花 8:00 达到第 1 个峰值,10:00 由于蒸腾速率达到最大,WUE 达到谷底,午后随着光合蒸腾作用的减弱,分别于 16:00 和 18:00 达到第 2 个峰,毛樱桃的 2 个峰值分别出现在 10:00 和 18:00,第 2 个峰值不明显,东北连翘 WUE 日变化则呈单峰型。4 种灌木水分利用效率(WUE)的日平均值大小依次为:小叶丁香(2.74 μmol/mmol) > 东北山梅花(1.93 μmol/mmol) > 毛樱桃(1.43 μmol/mmol) > 东北连翘(1.13 μmol/mmol)。虽然毛樱桃 Pn 高,但其 Cond

和 Tr 很高,属于需要消耗大量水分以获得较高的光合速率,WUE 不高。

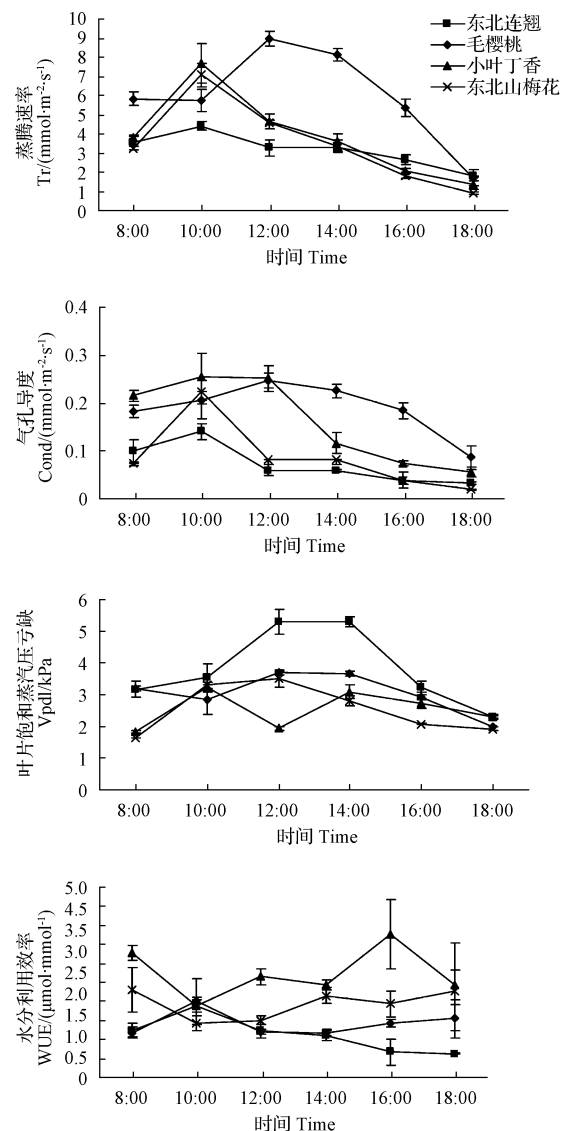


图 3 4 种灌木光合作用重要参数日变化

Fig. 3 Diurnal changes of important parameters in transpiration of 4 shrubs

### 2.3 4 种灌木净光合蒸腾速率与生理生态因子相关分析

从表 1 的 4 种灌木净光合速率与环境因子的相关性分析可知,4 种灌木的 Pn 与 Cond、Tr 呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与 Ci 均呈负相关。同时,Pn 与 PAR、Ca、RH 存在紧密联系,东北连翘 Pn 与 Ca、PAR 极显著正相关( $P < 0.01$ );小叶丁香 Pn 与 PAR 和 RH 极显著正相关( $P < 0.01$ ),与 Ca 极显著负相关( $P < 0.01$ );东北山梅花 Pn 与 PAR 极显著正相关( $P < 0.01$ ),与 Ca 极显著负相关( $P < 0.01$ ),与 Tl、Ta 和 Vpdl 显著正相关( $P < 0.05$ );毛樱桃 Pn 与 Vpdl、Ta、Tl、PAR 均呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与 Ci、RH 极显著负相关( $P < 0.01$ )。4 种

灌木 Tr 与 Cond、PAR 均呈极显著正相关( $P<0.01$ )。小叶丁香 Tr 与 RH 极显著正相关( $P<0.01$ ),与 Ca 极显著负相关( $P<0.01$ );东北山梅花 Tr 与 Vpdl 极显著正相关

( $P<0.01$ ),与 Ca 极显著负相关( $P<0.01$ )、与 Ci 显著负相关( $P<0.05$ );毛樱桃 Tr 与 Vpdl、TI 极显著正相关( $P<0.01$ ),与 Ci、Ta、Ca、RH 均呈极显著负相关( $P<0.01$ )。

表 1

净光合速率和生理生态因子相关系数

Table 1

Correlation analysis among Pn, Tr and relative factors

树种		Pn	Cond	Ci	Tr	Vpdl	Ta	TI	Ca	RH
东北连翘	Cond	0.861**								
	Ci	-0.251	0.169							
	Tr	0.875**	0.855**	-0.299						
	Vpdl	0.177	-0.087	-0.884**	0.431					
	Ta	0.039	-0.188	-0.860**	0.322	0.976**				
	TI	0.149	-0.048	-0.829**	0.453	0.984**	0.983**			
	Ca	0.601**	0.740**	0.542*	0.388	-0.559*	-0.685**	-0.591**		
	RH	-0.231	0.179	0.853**	-0.250	-0.786**	-0.735**	-0.682**	0.315	
	PAR	0.752**	0.560*	-0.596**	0.881**	0.709**	0.571*	0.675**	0.146	-0.585*
毛樱桃	Cond	0.895**								
	Ci	-0.920**	-0.780**							
	Tr	0.807**	0.946**	-0.778**						
	Vpdl	0.705**	0.823**	-0.752**	0.951**					
	Ta	0.595**	0.769**	-0.707**	-0.918**	0.954**				
	TI	0.625**	0.791**	-0.704**	0.935**	0.985**	0.987**			
	Ca	-0.365	-0.492*	0.586*	-0.623**	-0.596**	-0.785**	-0.685**		
	RH	-0.897**	-0.740**	0.887**	-0.723**	-0.721**	-0.582*	-0.616**	0.272	
	PAR	0.820**	0.832**	-0.698**	0.823**	0.804**	0.634**	0.715**	-0.177	-0.804**
小叶丁香	Cond	0.914**								
	Ci	-0.250	0.043							
	Tr	0.779**	0.859**	-0.143						
	Vpdl	-0.130	-0.187	-0.467	0.325					
	Ta	0.183	0.055	-0.508*	0.286	0.633**				
	TI	0.151	0.031	-0.421	0.171	0.477*	0.973**			
	Ca	-0.606**	-0.715**	0.302	-0.826**	-0.253	-0.235	-0.147		
	RH	0.847**	0.940**	0.193	0.708**	-0.392	-0.173	-0.161	-0.544*	
	PAR	0.635**	0.621**	-0.246	0.596**	0.162*	0.712**	0.749**	-0.495*	0.498*
东北山梅花	Cond	0.845**								
	Ci	-0.288	-0.496*							
	Tr	0.809**	0.979**	-0.572*						
	Vpdl	0.579*	0.602**	-0.501*	0.736**					
	Ta	0.510*	0.319	-0.152	0.440	0.875**				
	TI	0.487*	0.262	-0.109	0.378	0.839**	0.995**			
	Ca	-0.795**	-0.542*	-0.125	-0.826**	-0.461	-0.622**	-0.626**		
	RH	0.275	0.309	0.092	0.134	-0.535*	-0.649**	-0.667**	-0.059	
	PAR	0.780**	0.502*	-0.090	0.520**	0.674**	0.778**	0.798**	-0.805**	-0.224

注:\*\*  $P<0.01$ ; \*  $P<0.05$ 。

### 3 讨论与结论

自然条件下植物的光合作用日变化均有规律可循,变化曲线多数呈双峰型或单峰型<sup>[7-8]</sup>,日均净光合速率反映了植物光合能力的大小,植物光合能力的强弱因物种遗传特性的差异而各异<sup>[9]</sup>。自然条件下 4 种灌木日均净光合速率差异明显,小叶丁香、毛樱桃光合能力较强,固定大气 CO<sub>2</sub> 的能力较强,东北山梅花居中,而东北连翘总体光合速率和对光的利用率均较低。东北连翘、毛樱桃、小叶丁香的净光合速率的日变化曲线为单峰曲线,而东北山梅花净光合速率的日变化则呈双峰曲线,出现“午休”现象,依据 Farquhar 等<sup>[7]</sup>的观点,东北山梅花“午休”是由非气孔因素引起的,此时 Pn 降低可能是

由于午间高光照和高温引起叶肉细胞中酶活性降低、羧化能力下降,导致植物叶肉细胞同化能力下降。叶片 Cond 与 Pn 的日变化趋势基本一致,呈正相关关系,这与许大全<sup>[10]</sup>提出的 Pn 对 Cond 具有反馈调节作用的想法一致。

蒸腾速率是表征植物水分状况的生理指标,其值在一定程度上能够反映出植物调节水分及对逆境的适应能力<sup>[11]</sup>。东北连翘蒸腾午休现象说明其对环境变化较为敏感,较高的 PAR 及较高气温条件下可以通过关闭气孔减少中午高温高光强情况下蒸腾失水,维持正常的生理需要,表明其对干旱环境具有一定的适应能力。Vpdl 是叶片水分蒸腾的驱动力,蒸腾又受 Cond 的影



响<sup>[12]</sup>。8:00 后随着光照的增强和  $T_a$  的升高,环境饱和蒸汽压增大而使叶表蒸发力增大, $V_{pdl}$  逐渐增大、气孔逐渐打开,引起植物  $T_r$  增强。10:00 以后因气孔逐渐关闭,东北连翘、小叶丁香、东北山梅花气孔导度大幅下降,蒸腾速率也随之下降,而毛樱桃的  $T_r$  仍维持在相对较高的水平,这可能是由于午间高温导致蒸腾拉力增大进而导致植物在气孔一定程度关闭的情况下仍维持较高的蒸腾速率。

植物的光合作用受内部生理因子及外部环境因素共同影响,短时间内植物生理因子相对稳定,环境因子成为影响植物光合蒸腾特性的重要因素。光合有效辐射为植物提供了碳同化的能量,有研究表明,当光合有效辐射在一天中处于较低值时,净光合速率会随着光合有效辐射的升高而增加<sup>[13-14]</sup>。该研究中,4 种灌木的  $P_n$  与  $T_r$  呈极显著正相关,影响 4 种灌木的  $P_n$ 、 $T_r$  的主要生理因子是  $Cond$ 、 $C_i$ ,4 种灌木蒸腾速率均受  $Cond$  的影响较大,相关性均在 0.8( $P < 0.01$ )以上,毛樱桃光合蒸腾作用易受多种生理生态因素的影响。光合有效辐射与  $P_n$ 、 $T_r$  均极显著正相关,PAR 是促进东北连翘、毛樱桃、东北山梅花  $P_n$  的主要环境因子,直接影响植物生长状况进而影响植物的观赏价值及城市绿地生态效益。国内外研究表明  $Ca$  升高能使  $P_n$  明显提高<sup>[15-16]</sup>,而该试验小叶丁香、东北山梅花  $P_n$  与  $Ca$  极显著负相关,这可能与夏季高温条件下植物气孔关闭有关<sup>[17-18]</sup>。相关性分析毛樱桃和东北山梅花  $P_n$  与  $T_a$  显著正相关,东北连翘和毛樱桃  $P_n$  与  $T_a$  正相关,因此气温不是直接限制净光合速率的因素。

#### 参考文献

- [1] 王建华,任士福,史宝胜,等. 遮荫对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学报,2011(7):1811-1817.
- [2] 严俊鑫,刘晓东,张晓娇,等. 6 种丁香的光合特性[J]. 东北林业大学学报,2008(7):23-24,41.
- [3] 杨江山,常永义,种培芳. 3 个樱桃品种光合特性比较研究[J]. 园艺学报,2005(5):8-12.
- [4] 王竞红. 哈尔滨市几种常用花灌木耐荫性的研究[D]. 哈尔滨:东北

林业大学,2002.

- [5] Berry J A, Downton W J S. Environmental regulation of photosynthesis[J]. Photosynthesis,1982,2:263-343.
- [6] Nijs I, Ferris R, Blum H, et al. Stomatal regulation in a changing climate: A field study using free air temperature increase (FATI) and free air  $CO_2$  enrichment (FACE) [J]. Plant Cell and Environment,1997,20:1041-1050.
- [7] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology,1982,33(1):317-345.
- [8] 李建栋,刘岩,高春雨,等. 苦碟子光合作用日变化及其与环境因子关系的研究[J]. 人参研究,2008(2):12-15.
- [9] 徐丽君,王波,孙启忠. 科尔沁沙地紫花苜蓿的光合日动态[J]. 应用生态学报,2008,19(10):2189-2193.
- [10] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题[J]. 植物生理学通讯,1997(4):241-244.
- [11] 韩蕊莲,梁宗锁,侯庆春,等. 黄土高原适生树种苗木的耗水特性[J]. 应用生态学报,1994(2):210-213.
- [12] Yu Q, Wang T D. coupled model of photosynthesis, transpiration and stomatal conductance and physiological response of C3 plant leaves to environmental factor[J]. Acta Botanica Sinica,1998,40(8):740-754.
- [13] Hoyaux J, Moureaux C, Tourneur D, et al. Extrapolating gross primary productivity from leaf to canopy scale in a winter wheat crop[J]. Agricultural and Forest Meteorology,2008,148(4):668-679.
- [14] 刘小文,王秋霞,郭美霞,等. 紫茎泽兰生殖期光合特性日变化[J]. 草业科学,2011(1):105-109.
- [15] Peri P L, Moot D J, Mc Neil D L. A canopy photosynthesis model to predict the dry matter production of cocksfoot pastures under varying temperature, nitrogen and water regimes[J]. Grass and Forage Science,2003,58(4):416-430.
- [16] Kim S O O H, Sicher R C, Bae H, et al. Canopy photosynthesis, evapotranspiration, leaf nitrogen, and transcription profiles of maize in response to  $CO_2$  enrichment[J]. Global Change Biology,2006,12(3):588-600.
- [17] Haldimann P, Feller U. Inhibition of photosynthesis by high temperature in oak (*Quercus pubescens* L.) leaves grown under natural conditions closely correlates with a reversible heat-dependent reduction of the activation state of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase[J]. Plant, Cell and Environment,2004,27(9):1169-1183.
- [18] Fritz J J, Neale P J, Davis R F, et al. Response of Antarctic phytoplankton to solar UVR exposure: inhibition and recovery of photosynthesis in coastal and pelagic assemblages[J]. Marine Ecology Progress Series,2008,365:1-16.

## Photosynthesis and Transpiration Characteristics of Four Common Shrub Vegetation in Northeast of China

SU Xin, ZHANG Yu, CAI Ying-jie, ZHOU Yun-wei

(College of Landscape Architecture, Northeast Forest University, Harbin, Heilongjiang 150040)

**Abstract:** An experiment was conducted to study the photosynthesis and transpiration characteristics of *Forsythia mandshurica*, *Cerasus tomentosa*, *Syringa microphylla* and *Philadelphus schrenkii* in Northeast of China by using the Li-Cor 6400 portable photosynthesis system. The correlation analysis among net photosynthetic rate, transpiration rate and their related physiological and ecological factors were made respectively. The results showed that the diurnal change of net photosynthetic rate and transpiration rate of *Cerasus tomentosa* (Thunb.) Wall. and *Syringa microphylla* showed

DOI:10.11937/bfyy.201504018

# 沙埋和供水对毛乌素沙地沙芥与 斧形沙芥出苗的影响

黄修梅<sup>1,2</sup>, 郝丽珍<sup>2,3</sup>, 张凤兰<sup>2,3</sup>, 杨忠仁<sup>2,3</sup>

(1. 内蒙古农业大学 职业技术学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古自治区野生特有蔬菜种质资源与种质创新重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010019; 3. 内蒙古农业大学 农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

**摘 要:**以中国特有种沙芥和濒危种斧形沙芥为试材,研究了人工控制的 6 个沙埋深度和 4 个供水量处理对沙芥与斧形沙芥幼苗出土的影响。结果表明:沙埋不同深度的沙芥、斧形沙芥出苗与供水量密切相关。当供水量为毛乌素沙地 6 月份平均降雨量的 50%(22.5 mm)时,沙埋各深度的果实都不能出苗;当供水量为毛乌素沙地 6 月份平均降雨量(50 mm)时,浅层的沙芥(1~4 cm)和斧形沙芥(1~2 cm)均能顺利出苗;当供水量为毛乌素沙地 7 月份平均降雨量(100 mm)时,沙芥沙埋 1~4 cm 和斧形沙芥沙埋 0~6 cm 均能出苗;当供水量为毛乌素沙地 7 月份平均降雨量增加 50%(150 mm)时,沙芥 1~8 cm 和斧形沙芥 0~8 cm 均能出苗。沙芥出苗速率随供水量的增加而增加,其中供水量为 135 mL 时出苗最快,沙埋 2 cm 出苗最快,且随着沙埋深度的增加,出苗时间推迟。斧形沙芥在供水量 90 mL 出苗较快,出苗时间等于或早于供水量 135 mL,1 cm 沙埋深度出苗最快。结合毛乌素沙地降雨特点与该试验结果,沙埋 1.0~2.0 cm 和 100 mm 以上月平均降雨量是沙芥和斧形沙芥自然条件下出苗较好的重要条件。

**关键词:**毛乌素沙地;沙芥;斧形沙芥;沙埋;供水;幼苗出土

**中图分类号:**Q 948;Q 945 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)04-0076-05

近年来,土地荒漠化及其防治已成为各国政府及科学界广泛关注的社会与环境问题<sup>[1]</sup>。毛乌素沙地是我

国荒漠化比较脆弱和敏感的地区之一<sup>[2]</sup>,荒漠化不仅长期制约着当地经济的发展,同时也不同程度地影响着黄河流域经济的发展。荒漠化治理关键在于植物种子能否萌发及幼苗能否顺利出土与定居,这一过程受诸多因素影响,如温度、光照、沙埋和水分等<sup>[3-5]</sup>。沙地种子萌发季节平均气温处于种子适宜萌发温度 10~40℃<sup>[6]</sup>,同时,沙埋后种子萌发受光照的影响较小<sup>[7]</sup>。因此沙埋与水分是沙地种子萌发最重要的生态因子和限制因子<sup>[8]</sup>。目前,很多研究也表明沙埋深度直接影响植物种子的萌发出土及存活,适当深度的沙埋可以为种子萌发创造一个温度和水分比较适宜的环境;但过高的沙埋深度会导致氧气缺乏,使种子难于萌发,幼苗不能出土<sup>[9-10]</sup>。在沙

**第一作者简介:**黄修梅(1971-),女,博士,讲师,现主要从事沙生蔬菜种质资源与种质创新等研究工作。E-mail:huangxm0404@126.com

**责任作者:**郝丽珍(1960-),女,博士,教授,研究方向为沙生蔬菜种质资源与种质创新。E-mail:haolizhen\_1960@163.com

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31160393,31101541,30460080,30260067);教育部博士点基金资助项目(20111515110006);内蒙古科技攻关资助项目(20050305,20060202);内蒙古自然科学基金资助项目(2001108020501,200308020513)。

**收稿日期:**2014-11-25

one-peak type. The diurnal change of net photosynthetic rate of *Forsythia mandshurica* Uyeki showed one-peak type and transpiration rate showed two-peak type, while those of *Philadelphus schrenkii* Rupr. exhibited a typical bimodal curve and one-peak type. The main physiological factors of net photosynthetic rate and transpiration rate were stomatal conductance and intercellular CO<sub>2</sub> concentration. Photosynthetic rate and transpiration rate of 4 shrubs were positively correlated with stomatal conductance, and negatively correlated with intercellular CO<sub>2</sub> concentration. Photosynthetic rate and transpiration were closely related to photosynthetically active radiation, air CO<sub>2</sub> concentration and air relative humidity. Photosynthetically active radiation was the main positive ecology factor affecting photosynthesis, while intercellular CO<sub>2</sub> concentration and air CO<sub>2</sub> concentration were the main negative factors.

**Keywords:** net photosynthetic rate; transpiration rate; diurnal dynamics