

## 北京市园林绿化树种蒸腾耗水特性分析

丁 杰<sup>1</sup>, 赵云阁<sup>1</sup>, 鲁绍伟<sup>2,3</sup>, 杨 超<sup>1</sup>, 李少宁<sup>2,3</sup>, 杨新兵<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000; 2. 北京市农林科学院 林业果树研究所, 北京 100093;

3. 科技创新服务能力建设-协同创新中心-林果业生态环境功能提升协同创新中心, 北京 100093)

**摘 要:**以白皮松、侧柏、桧柏和沙地柏为试材,采用盆栽称重方法,研究了水汽压亏缺与叶片气孔导度对苗木蒸腾耗水的影响,以期测得苗木的蒸腾耗水特性。结果表明:在土壤水分充足的情况下,苗木的水分利用率总体呈下降趋势,苗木日平均水分利用率表现为白皮松( $3.01 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )>侧柏( $2.62 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )>沙地柏( $2.57 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )>桧柏( $2.35 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )。3种典型天气中,苗木蒸腾耗水为晴天>半晴天>阴天。苗木昼夜蒸腾耗水排序为白皮松( $0.030 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )>沙地柏( $0.026 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )>侧柏( $0.018 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )>桧柏( $0.008 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )。苗木的蒸腾耗水与水汽压亏缺、叶片气孔导度呈正相关关系,受其影响最大的是白皮松。研究结果可为科学评价园林绿化树种耗水状况、提高园林绿地水分利用率提供参考依据。

**关键词:**园林绿化树种;蒸腾耗水;水分利用率;耗水量**中图分类号:**S 731.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)03-0087-08

北京市的生态系统环境中,园林绿化树种构成了重要的组成部分,并发挥着巨大的生态调节作用,

受到人们的广泛关注。目前,对城市绿化树种的选择,主要从绿化、美化、香化等角度考虑,还应结合着树木栽培生理、空气中  $\text{CO}_2$  浓度、空气湿度、温度和树种的耗水特性等进行综合考虑<sup>[1-2]</sup>。随着全球气候的变化和水资源的短缺,树木的耗水量又相对较大,在涵养水源和水资源利用等方面出现了矛盾,并逐渐成为国内外研究的热门话题,受到国内外树木水分生理学家、生态学家和林学家的一致关注<sup>[3]</sup>。

树木主要通过蒸腾作用完成对水分的消耗,其中叶片蒸腾耗水占整株树木耗水量的90%以上<sup>[4]</sup>。虽然叶片蒸腾耗水量受多种环境因素(太阳辐射、空

**第一作者简介:**丁杰(1992-),女,河北固安人,硕士研究生,研究方向为水土保持。E-mail:yixuandj@163.com.

**责任作者:**杨新兵(1978-),男,河北涉县人,博士,副教授,研究方向为水土保持与森林生态。E-mail:yangxinbing2001@126.com.

**基金项目:**北京市农林科学院基金资助项目(QNJ201532);科技创新服务能力建设-协同创新中心-林果业生态环境功能提升协同创新中心(2011 协同创新中心)(市级)资助项目(PXM2016\_014207\_000038);北京市农林科学院科技创新团队资助项目(JWKST201609)。

**收稿日期:**2016-10-08

**Abstract:** To compare the physiological indexes of *Helenium autumnale* and *Echinacea purpurea* Moench from seed germination to seedling growth, which were planted by hybrid or single way. The results showed that under the hybrid condition, *Helenium autumnale* seed germination was inhibited, while *Echinacea purpurea* Moench seed germination was promoted. The ground weight, root weight and leaf area of *Helenium autumnale* in hybrid were significantly or very significantly higher than single, which were 1.96, 2.02, 1.75 times. The leaf area of *Echinacea purpurea* Moench in hybrid was significantly lower than single. The root activity of *Helenium autumnale* in hybrid was significantly higher than single, which was 1.24 times. The pigment content of both had no significant change. Comprehensive performance indicators, it was beneficial to seed germination of *Echinacea purpurea* Moench when both seeds mixture. When hybrid seedlings, *Helenium autumnale* had a competitive advantage.

**Keywords:** *Helenium autumnale*; *Echinacea purpurea* Moench; germination rate; physiological indexes; competition

气饱和差、空气温度、空气相对湿度、风速、土壤温度、土壤湿度等)的影响,但在环境条件一定的情况下,只与树冠叶面积和叶片蒸腾强度相关,其与树种的遗传特性紧密相关。因此,基本相同的环境条件下,叶片的蒸腾耗水量可以用作评价和比较不同树种的蒸腾耗水特性。盆栽可以使林木处在这种土壤和大气条件中,已逐渐成为研究树木蒸腾耗水特性的常用方法之一<sup>[5]</sup>。但以往的研究涉及的主要是山地或平原等大面积造林中的树种,对城市园林绿化树种的系统报道研究比较少<sup>[6]</sup>,又因园林绿化树种种类繁多,所以要实现抗旱、低耗水树种的选择,还需要长期大量观测树种的耗水特性。

现在人工控制基本一致的环境条件下,通过园林绿化树种盆栽试验,选择4种北京市常见的城市园林绿化针叶树种,在典型天气条件(晴天、半晴天、阴天)进行光合蒸腾特性和耗水量的测定,分析比较其光合特性、水分利用、蒸腾耗水(日耗水、季节耗水、年耗水)等特性及与环境因子的关系等,为在水量有限的情况下合理选择城市园林绿化树种提供依据,以筛选抗旱强、耗水少的园林绿化植物,更好地发挥生态效益。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地点位于北京市农林科学院林业果树研究所(简称林果所)的种质资源圃内,地处北京市西五环内闵西桥附近,地理坐标为北纬39°59'35",东经116°13'13",海拔约为88 m,总面积约为13.33 hm<sup>2</sup>。北京市位于华北平原北部,背靠燕山,毗邻天津市和河北省,为典型的北温带半湿润大陆性季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,春、秋短促。全年无霜期180~200 d,西部山区较短。年均降雨量约483.9 mm,集中在6—8月,占全年降水的80%。太阳辐射量全年平均为468~569 kJ·cm<sup>-1</sup>,年均日照时数2 000~2 800 h。资源圃内果树种类繁多,主要分布有苹果(*Malus domestica*)、桃(*Amygdalus persica*)、樱桃(*Prunus pseudocerasus*)、杏(*Armeniaca vulgaris*)、李(*Prunus salicina*)、枣(*Ziziphus jujuba*)、核桃(*Juglans regia*)、板栗(*Castanea mollissima*)等。

### 1.2 试验材料

选择华北地区常见的白皮松(*Pinus bungeana*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、桧柏(*Sabina chinensis*)和沙地柏(*Sabina vulgaris*)4种针叶树种为研究对

象,每个树种选择5棵大小长势近似的苗木移栽到盆中进行培养,取原生土栽培。在人工控制条件下,对4种苗木的光合特性、水分利用、蒸腾耗水进行研究。

### 1.3 试验方法

每种苗木共设3组重复,用空白盆栽容器作为对照,以消除容器中土壤蒸发的影响。于2015年5—10月(5月为春季,6—8月为夏季,9—10月为秋季),对4个供试树种进行测定。在每个测定月份选择典型天气(晴天、半晴天、阴天),用手持式仪器CI-340超轻型便携式光合测定仪07:00—17:00测定各苗木的光合速率、净光合速率( $P_n$ ,  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、气孔导度( $G_s$ ,  $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、蒸腾速率( $E$ ,  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、叶温( $T$ ,  $^{\circ}\text{C}$ )等参数的变化动态。日耗水进程为每隔2 h测定1次,测定时选取苗木中上部,树冠外层向阳、健康完整的5片叶子,每片叶子测定3~5个瞬时值,结果取平均值。用ACS-D11电子秤(精度为0.01 kg)每天08:00、18:00以及翌日的08:00准时称重,得到苗木昼夜耗水量。每月试验完成后将试验苗木的叶片全部采下,把叶片放入EPSON Scan扫描仪中扫描,利用该分析软件对图像进行处理,计算叶面积( $S$ ,  $\text{cm}^2$ )。

试验地内设有米特(Meter)全自动气象站,实时观测自动记录太阳总辐射( $W \cdot \text{m}^{-2}$ )、光合有效辐射( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、空气温度( $T_a$ ,  $^{\circ}\text{C}$ )、相对湿度( $RH$ ,  $\%$ )、风速( $W \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )、风向、降水量( $P$ ,  $\text{mm}$ )等,间隔时间为1 h。

水分利用率( $WUE$ )=净光合速率( $P_n$ )/蒸腾速率( $E$ )<sup>[7]</sup>。

### 1.4 数据分析

试验数据采用Excel 2013软件进行作图,运用SPSS软件对数据进行相关性分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 水分利用率的变化规律

从图1可以看出,4种苗木的水分利用率日变化趋势基本相同,总体呈下降趋势。不同树种在同一时间水分利用率不同,同一树种在不同时间水分利用率也不相同。苗木水分利用率总体上是07:00—11:00最高,13:00—15:00最低,15:00—17:00有所回升。原因是由于清晨气温低,光照强度较弱,光合速率较低所致;随着温度的升高,蒸腾作用的加强,气孔关闭,光合速率的增加相对小于蒸腾速率的增加,因此会在中午出现水分利用率最低的

现象;傍晚光照强度逐渐变弱,气孔又重新打开,光合速率相对大于蒸腾速率,所以此时苗木的水分利用率又有所回升。

由图 1 可知,除 7 月外,其它月份均是白皮松水分利用率整体最高,7 月水分利用率最高的是侧柏。4 种苗木日平均水分利用率整体表现为白皮松( $3.01 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )>侧柏( $2.62 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )>沙地柏( $2.57 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )>桧柏( $2.35 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ),水分利用率越大说明苗木的生长、适应干旱能力越强,

所以白皮松的生长、适应能力最强。

从时间来看,苗木水分利用率均值排序为:8 月( $2.98 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )>7 月( $2.76 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )>9 月( $2.67 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )>10 月( $2.53 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )>6 月( $2.43 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )>5 月( $2.40 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )。水分利用率越大说明此时苗木的生长能力越强,所以 7、8、9 月,即夏、秋季为苗木一年中生长最旺盛的时期。

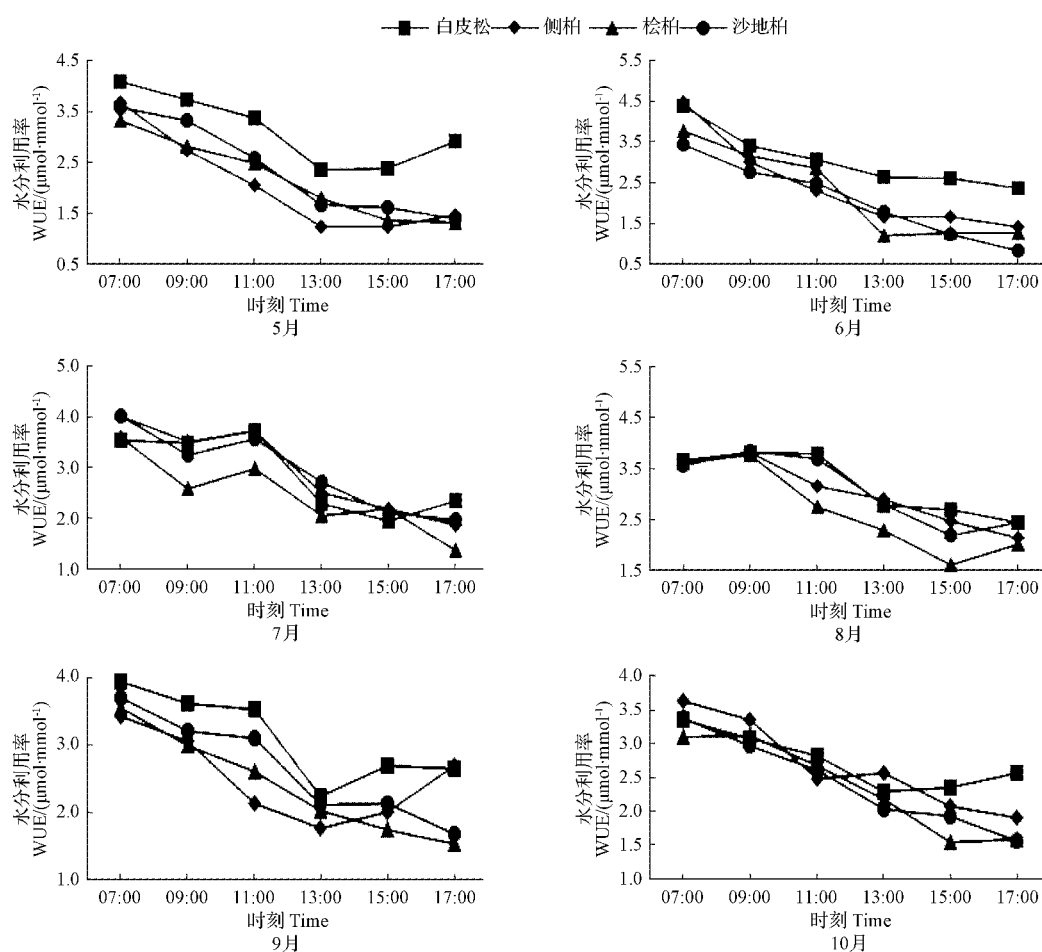


图 1 不同月份苗木叶片水分利用率日变化

Fig. 1 Daily changes of WUE of leaves of seedlings on different months

## 2.2 蒸腾耗水的变化规律

2.2.1 昼夜蒸腾耗水规律 从图 2 可以看出,4 种苗木白天耗水量明显大于夜间耗水量。就全年而言,苗木日平均昼夜耗水量大小排序为白皮松( $0.030 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )>沙地柏( $0.026 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )>侧柏( $0.018 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )>桧柏( $0.008 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )。白天、夜间耗水量最大的均是白皮松,其值分别为  $0.028$ 、 $0.005 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,白天耗水量最小的是桧

柏( $0.007 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )。夜间耗水量最小的是沙地柏( $0.003 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )。就月份而言,6 月份白天耗水量最大的是沙地柏( $0.027 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ),其余月份均是白皮松最大,即春、夏、秋季(5、7、8、9、10 月)白皮松白天耗水量最大,其值分别为  $0.024$ 、 $0.032$ 、 $0.031$ 、 $0.027$ 、 $0.026 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。就全年而言,苗木白天耗水量占昼夜耗水量百分比最大的均为沙地柏,其值分别为  $94.12\%$ 、 $91.65\%$ 、

90.36%、86.86%、96.05%、94.62%，最小的均是桧柏，其值分别为62.50%、60.00%、75.00%、63.54%、

66.62%、66.87%；苗木昼夜耗水程度在不同时间、不同天气状况等环境条件下也存在差异。

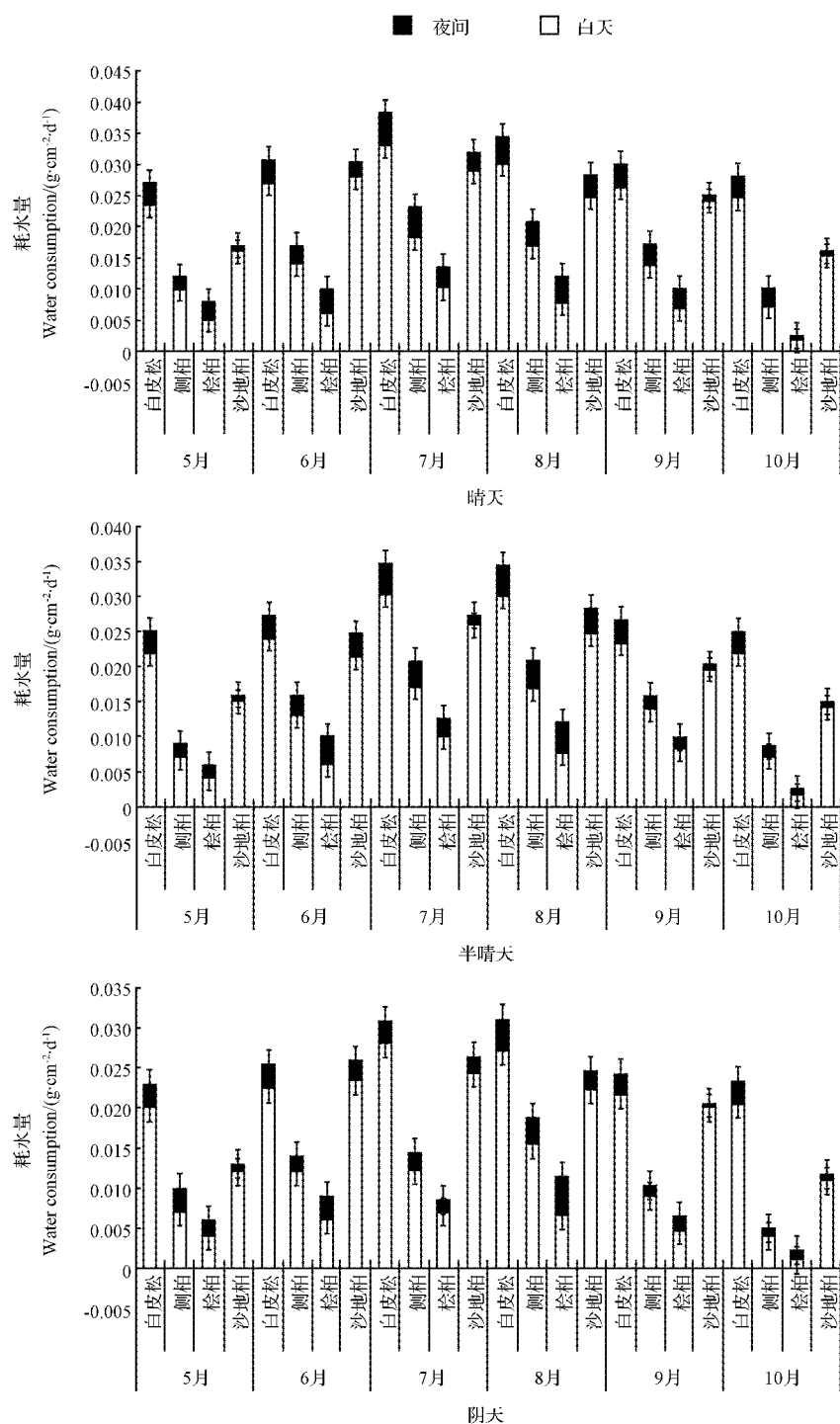


图2 苗木不同月份典型天气耗水量

Fig. 2 Water consumption of seedlings in the typical weather of different months

2.2.2 典型天气蒸腾耗水规律 3种典型天气条件下,4种盆栽苗木蒸腾耗水变化规律呈一致趋势,苗木的蒸腾耗水量均为晴天>半晴天>阴天,随着气

温的逐渐升高,苗木的蒸腾耗水量也在逐渐增加。4种针叶苗木晴天蒸腾耗水均值排序为白皮松( $0.0369 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )>沙地柏( $0.0265 \text{ g} \cdot$

$\text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) > 侧柏 ( $0.0157 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) > 桧柏 ( $0.0107 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ); 半晴天排序为白皮松 ( $0.0315 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) > 沙地柏 ( $0.0237 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) > 侧柏 ( $0.0136 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) > 桧柏 ( $0.0099 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ); 阴天排序为白皮松 ( $0.0275 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) > 沙地柏 ( $0.0207 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) > 侧柏 ( $0.0108 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) > 桧柏 ( $0.0072 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )。就月份来看, 苗木蒸腾耗水量总量为7月 > 8月 > 6月 > 9月 > 10月 > 5月。苗木蒸腾耗水在各个月份总体耗水规律表现一致, 7、8月为苗木蒸腾耗水量最多的月份, 这是由于7、8月为一年中日照时间相对较多、温度较高的时期, 苗木的蒸腾速率明显高于其它时期; 随着温度的降低, 苗木蒸腾速率开始下降, 6、9月苗木蒸腾耗水出现下降趋势, 5月由于气温刚刚回升且叶片处于

萌芽阶段, 10月气温较低苗木生长缓慢, 所以5、10月苗木蒸腾耗水量为最低。

### 2.3 蒸腾耗水速率与水汽压亏缺的变化规律

从图3可以看出, 苗木的蒸腾速率最大峰值均提前于水汽压亏缺峰值, 主要是由于树木组织内储存水的吸收与释放<sup>[8]</sup>。4种苗木水汽压亏缺均为单峰曲线, 桧柏的水汽压亏缺最大峰值出现在11:00, 侧柏、沙地柏最大峰值出现在13:00, 白皮松最大峰值出现在15:00。苗木蒸腾速率呈现出双峰曲线时, 水汽压亏缺曲线与蒸腾速率曲线的第2个最值重合; 蒸腾速率呈现出单峰曲线时, 水汽压亏缺曲线峰值滞后于蒸腾速率曲线峰值。从图4可知, 各苗木的蒸腾速率与水汽压亏缺均呈正相关关系, 其中白皮松的相关性最大, 说明白皮松的蒸腾耗水速率受水汽压亏缺的影响最大。

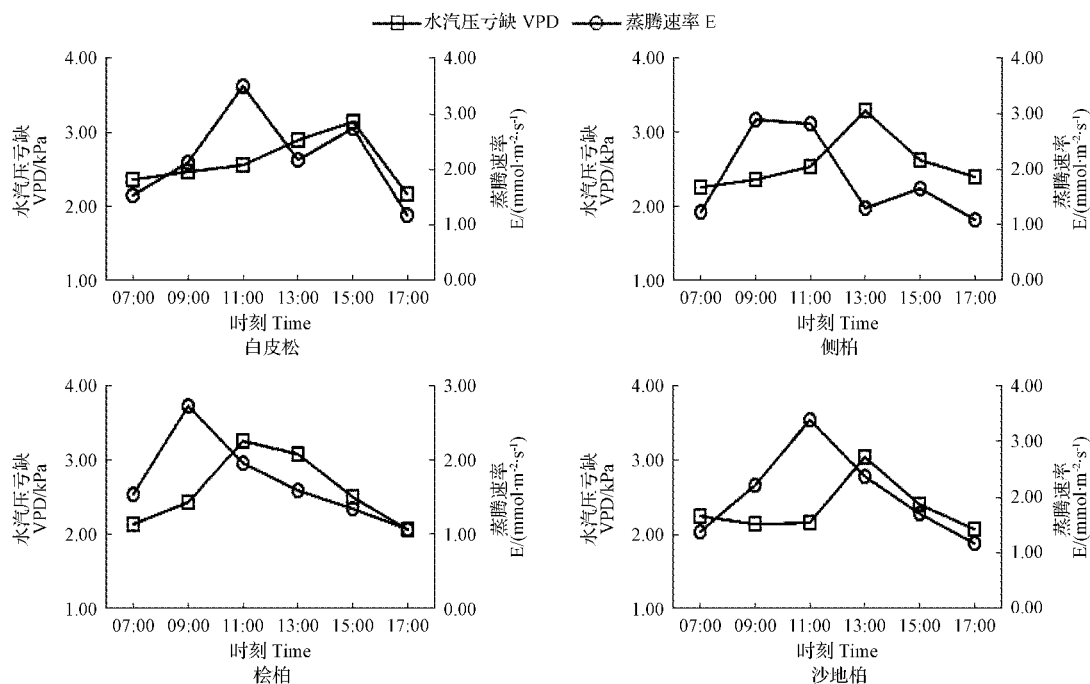


图3 蒸腾速率与水汽压亏缺日变化

Fig. 3 Daily changes of transpiration rate and vapor pressure deficit

### 2.4 蒸腾耗水速率与叶片气孔导度的变化规律

林木蒸腾耗水是树种本身遗传生理特性, 包括气孔导度等和外界环境条件, 包括太阳辐射、光合有效辐射、外界环境温度等<sup>[9-10]</sup>共同作用的结果, 其中气孔导度为主要的生理影响因子之一。

由图5可知, 每种苗木蒸腾速率与叶片气孔导度变化规律呈一致趋势。白皮松的蒸腾速率与气孔导度呈双峰变化, 峰值均出现在11:00、15:00。其它树种均呈单峰变化, 峰值出现在09:00—11:00。从

图6可以看出, 4种苗木的蒸腾速率与叶片气孔导度均呈正相关, 相关性排序为白皮松 ( $R^2 = 0.9795$ ) > 侧柏 ( $R^2 = 0.9185$ ) > 沙地柏 ( $R^2 = 0.8893$ ) > 桧柏 ( $R^2 = 0.8734$ ), 即白皮松的蒸腾速率受叶片气孔导度的影响最大, 桧柏受的影响最小。植物的蒸腾速率直接关系到植物的蒸腾耗水, 研究气孔导度与植物蒸腾速率之间的关系可为植物的蒸腾耗水、水分利用率、抗旱性等提供依据。

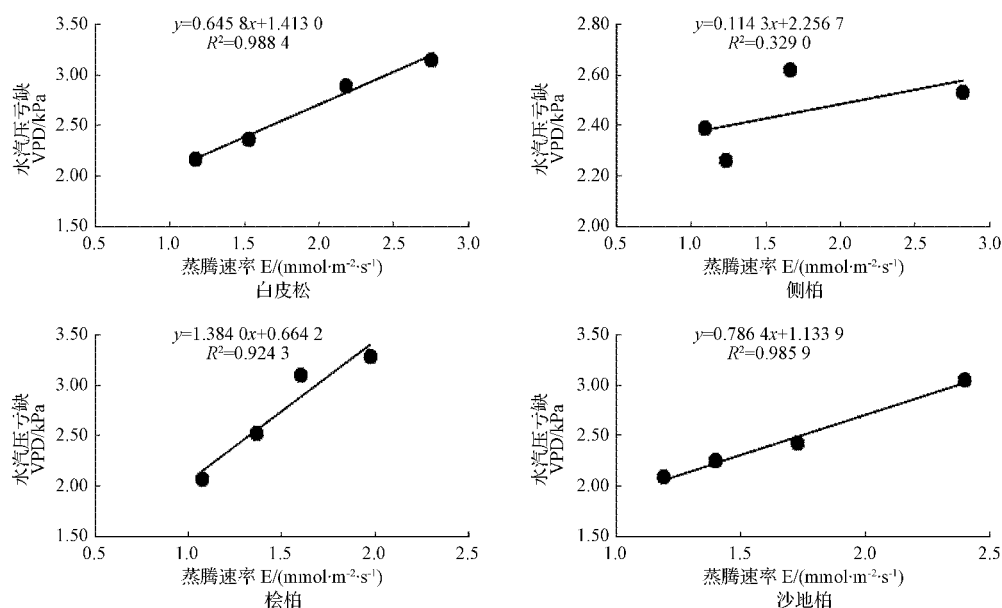


图4 蒸腾速率与水汽压亏缺相关性分析

Fig. 4 Correlations of transpiration rate and vapor pressure deficit

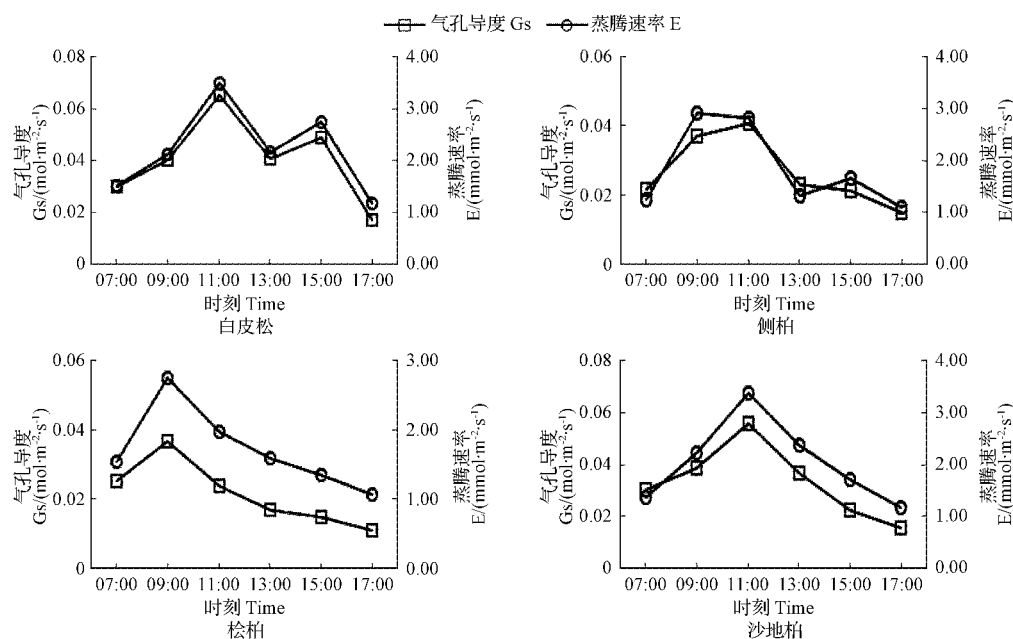


图5 苗木蒸腾速率与叶片气孔导度日变化

Fig. 5 Daily changes of transpiration rate and stomatal conductance of leaves of seedlings

### 3 讨论

#### 3.1 水分利用效率

不同树种间植物水分利用率存在差异,与其遗传特性相关。树种的寿命长短和生命形式也会影响其水分利用效率,该研究中白皮松、侧柏水分利用率较高且受气孔导度的影响较大,可能与其寿命较长,且具有较慢的生长速率和较完善的气孔调节来降低蒸腾作用,以减少耗水量,在遇到严重干旱时能迅速提

高水分利用效率,保持光合作用的活性有关。树种在不同的生长发育时期水分利用效率也不同。该研究中,苗木水分利用率为 8 月 ( $2.98 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ) > 7 月 ( $2.76 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ) > 9 月 ( $2.67 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ) > 10 月 ( $2.53 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ) > 6 月 ( $2.43 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ) > 5 月 ( $2.40 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ),水分利用效率在 8 月最高,而苏培玺等<sup>[11]</sup>研究荒漠植物月水分利用效率的结果表明,9 月水分利用效率最高,可能与其叶片的

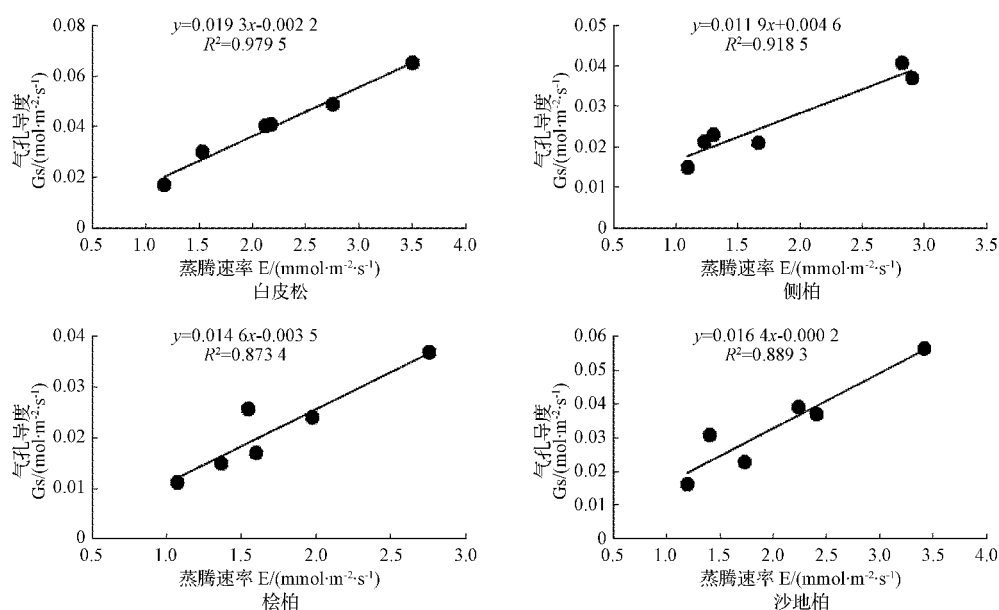


图6 苗木蒸腾速率与气孔导度相关性分析

Fig. 6 Correlations of transpiration rate and stomatal conductance of seedlings

成熟程度和不同时期最适生长环境条件有关。在干旱条件下,由于水分胁迫,叶片的气孔会关闭或者调节其开度的大小进而影响气孔导度,最终影响水分利用率<sup>[12]</sup>,白皮松、侧柏受到这样的影响较大。

水分利用率的基础是气孔运动以及光合与蒸腾作用。所以对树种气孔运动、光合、蒸腾有影响的环境因子都会影响到水分利用效率,只是影响的程度显著性不同。光照强度主要影响树木的光合作用,在一定范围内,水分利用率可以出现最大值。温度同时影响光合作用和蒸腾作用,而水分利用率受温度的影响主要由树种的最适温度决定;温度还会影响气孔导度,进而影响树种的水分利用率<sup>[12]</sup>。

### 3.2 蒸腾耗水

不同树种的生态效益存在差异,蒸腾耗水少的树种具有更高的水分利用率,因而可能存在更高的生态效益,对城市气候的改善和环境的调节有更重要的作用<sup>[5]</sup>。在以往的城市绿化树种的选择上,主要注重树种的观赏特性、生物学特性、生态效益以及经济效益等方面,在水资源匮乏的今天,应当将树种的耗水多少也加以考虑,进行综合策划评估,尽可能的利用资源节约型树种,同时加大对树种耐性的研究。同一树种的耗水量与季节、天气状况有着密切的联系,该试验中研究的是单株苗木的蒸腾耗水量,虽然在一定程度上可以说明树种蒸腾耗水的差异,但要完全说明树种的耗水差异还需要比较单位叶面积的耗水量,因为盆栽单株苗木的蒸腾耗

水量与其叶面积的大小呈正相关,即总叶面积越大,耗水越多。该研究中,苗木日平均昼夜耗水量为白皮松( $0.030 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) > 沙地柏( $0.026 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) > 侧柏( $0.018 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) > 桧柏( $0.008 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )。白皮松的耗水量最大,可能与其单株总叶面积最大和蒸腾耗水受水汽压亏缺、叶片气孔导度影响最大有关,苗木的气孔大小、密度和气孔对环境的敏感程度都会影响到苗木的蒸腾耗水,苗木蒸腾耗水与叶片气孔导度呈正相关,这与罗志鸿等<sup>[13]</sup>的研究结果相同。气孔作为叶片表层的特殊结构,控制着植物与环境间的水分和  $\text{CO}_2$  等气体的扩散,对蒸腾和光合等生理机能有着密切的影响。气孔导度与蒸腾速率日变化基本呈一致趋势,均在中午时分降低,主要是温度过高、辐射过强导致蒸腾作用过强而使气孔缩小或关闭,从而导致蒸腾速率降低,所以蒸腾速率很大一部分决定于气孔导度的大小程度。该试验中,应用的是盆栽苗木,不同生长时期、不同年龄的树种其水分利用效率和耗水特性是不同的,因此,实际应用中,不同的环境配置可能会存在差异,所以还需要对植物群落中树种的耗水特性进行进一步的研究,以便更好地评价绿化树种的耗水能力。

### 4 结论

随着北京市人口的急剧增长和经济的发展,在需水量持续增加同时水污染严重的大背景下,人们又渴望建设生态宜居城市,因此城市绿地成为了很

好的载体,然而其用水量也是不可小视的,所以该试验结果可为绿地水资源的合理利用与科学评价提供参考。研究表明,在土壤供水充分的条件下,苗木的水分利用率总体呈下降趋势,在清晨和傍晚相对较高,中午和下午相对较低;苗木日平均水分利用率整体表现为白皮松>侧柏>沙地柏>桧柏。苗木夏、秋季生长旺盛,水分利用率较高。4种苗木蒸腾耗水规律在各个月份表现一致,7、8月苗木蒸腾耗水最多,5、10月耗水最低;3种典型天气中苗木蒸腾耗水能力表现为晴天>半晴天>阴天;苗木昼夜蒸腾耗水能力大小为白皮松>沙地柏>侧柏>桧柏;苗木白天耗水量占昼夜耗水量的百分比最大均为沙地柏,最小的均是桧柏。苗木的蒸腾耗水与水汽压亏缺、叶片气孔导度呈正相关关系,受其影响最大的是白皮松。

#### 参考文献

- [1] 苗婷婷,杨婷婷,丁增发,等. 7种园林绿化树种蒸腾耗水特性研究[J]. 四川林业科技, 2014, 35(6): 84-87.
- [2] 陈洪国. 四种常绿植物蒸腾速率、净光合速率的日变化及对环境的影响[J]. 福建林业科技, 2006, 33(1): 76-79.
- [3] 樊敏. 北京常用3种观赏乔木好水特性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [4] 武维华. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 47-66.
- [5] 王瑞辉, 马履一. 北京15种园林树木耗水性的比较研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2009, 29(4): 16-20.
- [6] 孟凡荣, 乔芳, 张志强. 北京城区3种绿化树种蒸腾耗水性比较[J]. 福建林学院学报, 2005, 25(2): 176-180.
- [7] 邱权, 潘昕, 李吉跃, 等. 速生树种尾巨桉和竹柳幼苗耗水特性和水分利用效率[J]. 生态学报, 2014, 34(6): 1403-1408.
- [8] 王华, 赵平, 蔡锡安, 等. 马占相思树干液流与光合有效辐射和水汽压亏缺间的时滞效应[J]. 应用生态学报, 2008, 19(2): 225-230.
- [9] 马达, 李吉跃, 林平. 北京山区造林树种耗水规律初探[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2006, 26(1): 48-51.
- [10] 李新宇, 李延明, 孙林, 等. 银杏蒸腾耗水与环境因子的关系研究[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(4): 23-29.
- [11] 苏培玺, 严巧婧, 陈怀顺. 荒漠植物叶片或同化枝  $\delta^{13}C$  值及水分利用效率研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(4): 729-731.
- [12] 胡化广, 张振铭, 吴生才, 等. 植物水分利用效率及其机理研究进展[J]. 节水灌溉, 2013(3): 11-14.
- [13] 罗志鸿, 何生根, 洗锡金, 等. 梔子切叶瓶插期间蒸腾速率、气孔导度和气孔开度的变化[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2015, 28(4): 13-15.

## Characteristics Analysis of Water-consumption for Transpiration of Landscape Afforestation Tree Species in Beijing

DING Jie<sup>1</sup>, ZHAO Yunge<sup>1</sup>, LU Shaowei<sup>2,3</sup>, YANG Chao<sup>1</sup>, LI Shaoning<sup>2,3</sup>, YANG Xinbing<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000; 2. Forestry and Pomology Institute, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Science, Beijing 100093; 3. Capacity Building of Science and Technology Innovation Service-Collaborative Innovation Center-Horticulture Ecological Environment Function Promote Collaborative Innovation Center, Beijing 100093)

**Abstract:** *Pinus bungeana*, *Platycladus orientalis*, *Sabina chinensis* and *Sabina vulgaris* were used as test materials. In order to measure the water-consumption characteristics of seedlings' transpiration, this experiment used potted plants weighing method and studied the effect of vapor pressure deficit and leaf stomatal conductance on the seedling transpiration water-consumption. The results showed that the use efficiency of water for nursery stocks overall was declining under the condition of adequate soil water supply. The average daily use efficiency of water for nursery stocks overall performed for *Pinus bungeana* ( $3.01 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ) > *Platycladus orientalis* ( $2.62 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ) > *Sabina vulgaris* ( $2.57 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ) > *Sabina chinensis* ( $2.35 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ). The ability of water-consumption for transpiration was sunny > half sunny > cloudy in the typical weather; the capability of daily water-consumption for transpiration of seedlings day and night was *Pinus bungeana* ( $0.030 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) > *Sabina vulgaris* ( $0.026 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) > *Platycladus orientalis* ( $0.018 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ) > *Sabina chinensis* ( $0.008 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ). The water-consumption of transpiration for nursery stocks, vapor pressure deficit and stomata conductance were positively correlated relationship, which biggest affected was *Pinus bungeana*. The results of the study were a gist for scientific evaluations for water-consumption of landscape greening tree species and could improve the utilization efficiency of water for landscape greenbelt.

**Keywords:** landscape afforestation tree species; water-consumption for transpiration; water use efficiency; consumptive use of water