

2 种引种彩叶植物光合日变化及其影响因子研究

杨帆, 李静, 姚雪晗, 傅松玲*

(安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036)

摘要: 采用 Li-COR 6400 便携式光合分析仪进行光合生理指标测定, 分别对 2 年生美国红枫与北美枫香叶片的净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度($Cond$)和蒸腾速率(Tr)等进行对比分析。结果表明, 2 种引种于北美的观赏树木净光合速率日变化均呈双峰曲线, 存在光合“午休”现象, 用相关分析与通径分析法结合分析其净光合速率和各生理生态因子间的相互性, 结果显示两者光合速率的主要影响因子有很大差异, 枫香主要受 Tr 、 $Cond$ 和 V_{pdL} 的影响, 而红枫 P_n 的影响因子则主要是 Tr 和 C_i 。

关键词: 美国红枫; 北美枫香; 光合作用; 影响因子

中图分类号: S718.43

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2013)05-0746-05

Durinal variation of photosynthesis of two kinds of introduced colored leaves plants and its influencing factors

YANG Fan, LI Jing, YAO Xue-han, FU Song-ling

(School of Forestry & Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: In this paper, we tested net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance ($Cond$) and transpiration rate (Tr) of two species of *Liquidambar styraciflua* and *Acer rubrum* leaf by using Li-6400 photosynthesis analyzer system. The results showed that the curves of net photosynthetic rate (P_n) of two plants had two peaks. The methods of simple relative analysis and path analysis were used to study the relationship between P_n and multivariate of the two introduced colored leaves plants. The results were as follows. Different types of plants had different P_n influencing factors; P_n influencing factors for *Liquidambar styraciflua* were Tr , $Cond$ and V_{pdL} , while those for *Acer rubrum* were Tr and C_i .

Key words: *Acer rubrum*; *Liquidambar styraciflua*; photosynthesis; influencing factor

北美枫香(*Liquidambar styraciflua* L.), 金缕梅科, 枫香树属, 也称之为美国枫树, 是工矿企业、新城区的绿化、环境的改善及面貌改变的首选树种; 美国红枫(*Acer rubrum* L.), 槭树科, 槭树属, 也称之为加拿大红枫, 因其秋季色彩夺目, 树冠整洁, 被广泛应用于公园、小区、街道栽植, 既可以园林造景又可以作行道树, 深受人们喜爱, 是近几年引进的美化、绿化城市园林的理想珍稀树种之一^[1-3]。

美国红枫和北美枫香均原产于北美, 由于其叶色丰富, 季相变化明显, 具有很高的艺术观赏价值。加之两种树木生长迅速, 利用价值较高, 近几年来在山东、上海、长沙及合肥等地均有栽植。但 2 种植

物在生长和叶色表达上比起原产地均有所不足, 所以, 通过研究美国红枫和北美枫香的在本地的光合效率, 对提高光能利用率, 提高植物的固碳能力, 促进植物的生长, 提出相应的栽培和管理措施, 都具有一定的意义。本实验通过研究本地栽植的美国红枫与北美枫香的光合特性各项指标, 从而了解影响美国红枫与北美枫香的光合作用的因素, 以及通过对比各项指标, 从而可以为这 2 个树种的引种栽培做借鉴。针对目前国内彩叶树种运用比较少而且单调的形势, 通过对比美国红枫与北美枫香的对比, 进一步了解是否适宜把这 2 种树种同时应用于相同环境区域, 从而起到丰富某一区域彩叶树种的作用。

收稿日期: 2013-01-07

基金项目: 加拿大糖槭种质资源及培育技术引进(2013-4-49)资助。

作者简介: 杨帆, 女, 硕士研究生。E-mail: fanfanchong717@163.com

* 通信作者: 傅松玲, 女, 教授, 博士生导师。E-mail: fusongling@ahau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于安徽省六安市舒城县千人桥镇景泰园。以引种栽培地栽培的美国红枫与北美枫香的 2 年生幼树为试验材料。该地处于北亚热带向暖温带过渡湿润—半湿润季风气候区带, 四季分明, 雨量适中, 气候温和, 光照充足, 无霜期较长。年平均温度 15~15.7℃, 极端最高温度 41~41.6℃; 极端最低温度 -8.5~15℃; 年平均降雨量范围是 986~1300 mm, 年均日照时数为 2213 h 左右, 无霜期 226 d。安徽省六安市舒城县千人桥镇景泰园的土壤为黄泥土, 土层厚度在 80 cm 以上, pH 值在 5.5~6.0 之间。

1.2 试验材料

以引种栽培地栽培的美国红枫和北美枫香的 2 年生幼树为试验材料。

1.3 试验方法

于 2012 年 4 月下旬对美国红枫与北美红枫香叶片光合作用特性进行测定, 试验选择天气晴朗阳光充足的一天, 每种树选取 3 株生长环境条件以及长势大小相一致, 生长良好且无病虫害的植株作为供试材料, 挂牌标记树冠中上部南面受光条件好的枝条从上至下第 4、5 片健康的成熟叶片(每株 3~5 片), 采用美国 LI-COR 公司生产的 Li-COR 6400 便携式光合分析仪进行活体测定。试验从上午 10:00 开始, 下午 5:00 结束, 每隔 1 h 测定 1 次, 测定参数有: 光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度($Cond$)、胞间 CO_2 浓度(C_i)等^[4-10]。最后采用 Excel 2003 软件对数据进行作图、用 SPSS 软件做相关分析并得出结论。

2 结果与分析

2.1 北美枫香与美国红枫光合特性日变化

2.1.1 美国红枫与北美枫香的净光合速率日变化规律 从图 1 可以看出, 美国红枫与北美枫香净光合速率日变化曲线都呈双峰型, 这 2 种树种出现波峰与波谷的时间接近, 而且他们的日变化规律走势相同。北美枫香第 1 峰值出现在 11:00, 第 2 峰值出现在 15:00, 在 14:00 时出现波谷。美国红枫第 1 峰值 12:00, 第 2 峰值也出现在 15:00, 低谷在 13:00。在 12:00 之前, 随着光照强度的增加, 光合速率处于递增趋势, 直到达到最高点, 此时光照强度的增加, 光合速率处于递减的趋势。从图 1 中还可以看出美国红枫与北美枫香皆有明显的“午休”现象, 此时

的净光合速率也正处于最低值。经过波谷之后, 净光合速率整体有一个上升的趋势, 在 15:00 时达到另一个波峰, 之后随着光照的减弱, 净光合速率又开始呈逐渐下降的趋势。从 2 种树种的整体走势来看, 美国红枫总体上光合速率高于北美枫香, 对于光的利用率也是高于北美枫香。但美国红枫与北美枫香的净光合速率的日变化规律却是相似的。

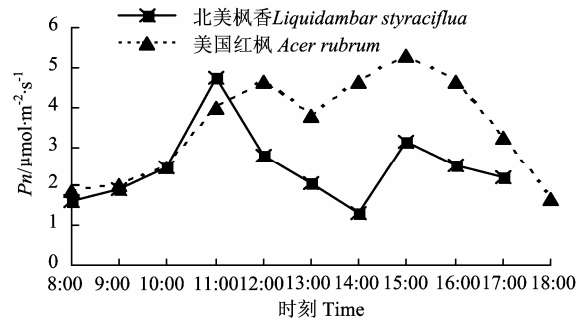


图 1 净光合速率日变化

Figure 1 The diurnal variation of net photosynthetic rate

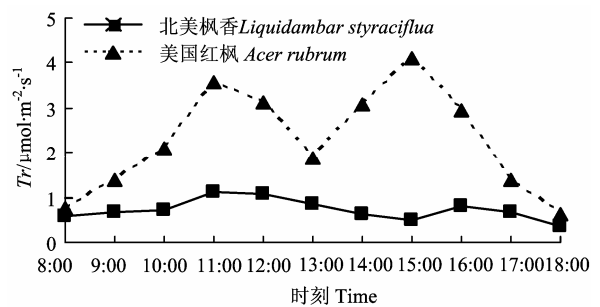


图 2 蒸腾速率日变化

Figure 2 The diurnal variation of transpiration rate

2.1.2 美国红枫与北美枫香的蒸腾速率日变化规律 蒸腾速率快慢受植物形态结构和多种外界因素的综合影响, 水分是直接影响树木正常生长的重要因素。而树木蒸腾作用的强弱直接影响水分的代谢。通过测定蒸腾速率, 了解这 2 种观赏树种水分代谢情况, 从而在实践生产中提出相应的栽培措施。

在图 2 中, 美国红枫与北美枫香均在 11:00 出现波峰, 之后又出现递减趋势, 在 13:00 时出现波谷, 随后是一个递增的趋势, 在 14:00 再次出现了波峰。波峰之后又是一个递减的趋势。在 11:00 之前蒸腾速率是不断加快, 11:00 之后光照的增加抑制了蒸腾速率, 一直到 13:00 达到最低值, 这与他们的光和效率的规律是基本一致的。13:00 的蒸腾速率最强, 此时采取适当的遮阴等措施, 降低其蒸腾作用, 对于提高美国红枫与北美红枫异地栽培的成活

率有明显的作用。

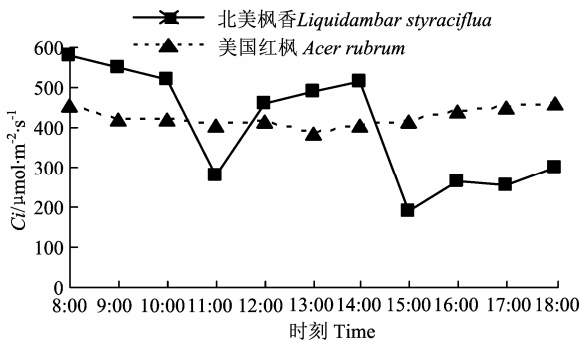


图3 胞间 CO₂ 浓度日变化

Figure 3 The diurnal changes of intercellular CO₂ concentration

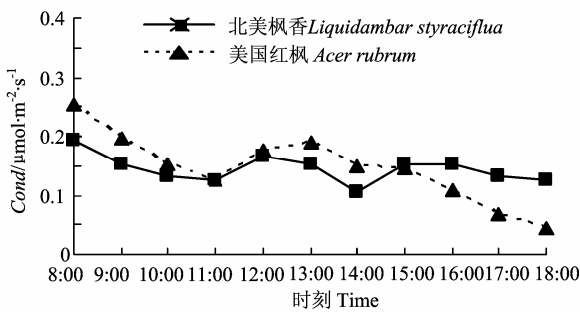


图4 气孔导度日变化

Figure 4 The diurnal changes of stomatal conductance

2.1.3 美国红枫与北美枫香的胞间 CO₂ 浓度日变化规律 胞间 CO₂ 浓度是指细胞内环境中的 CO₂ 的浓度。在一定范围内, 增加 CO₂ 的含量有助于促进光合作用。从图 3 中可以看出, 经过一个晚上的积累, 北美枫香与美国红枫胞间 CO₂ 浓度在早晨较高, 由于光合速率的加强, 胞间 CO₂ 浓度随后呈下降趋势, 北美枫香到 11:00 出现一个低谷, 之后又会随着光合速率的降低到 13:00 出现小高峰, 然后又随着光合速率的上升, 其浓度会有下降趋势, 等到光合速率降低一定值时, CO₂ 浓度又是一个上升的过程。从中可以看出北美枫香与美国红枫的胞间 CO₂ 浓度与其光合速率呈负相关, 即随着光合速率的增长, 胞间 CO₂ 浓度会随着降低, 当光合速率降低时, 胞

间 CO₂ 浓度会随着增高。可以看出胞间 CO₂ 浓度也是制约美国红枫与北美枫香的净光合速率的一个重要因素。

2.1.4 美国红枫与北美枫香的气孔导度的日变化规律 气孔导度表示的是气孔张开的程度, 影响光合作用、呼吸作用及蒸腾作用。外界与植物叶片进行气体交换的通道主要是气孔。O₂、CO₂ 和水蒸汽等气体都是通过气孔扩散。植物一般在光下进行光合作用, 植物经由气孔吸收 CO₂, 所以气孔必须张开, 但张开的气孔就伴随着蒸腾作用。气孔为了达到获取最多的 CO₂, 损失水分较少的目的, 会根据环境条件的变化来调节自己开度。气孔开度对植物的蒸腾有直接的影响。从图 4 中可以看出, 美国红枫与北美枫从早上开始时, 气孔导度是处于较大的状态, 随着时间的推移, 气孔导度有一个逐渐降低的趋势, 在 14:00 达到了最低值, 随后是呈一个上升的趋势, 在 16:00 时达到一个峰值, 之后就是呈下降的趋势。这个趋势也说明了叶片气孔导度对光合作用、蒸腾作用的影响。也说明了美国红枫和北美枫香出现“午休”现象的原因, 因为此时的气孔导度处于最低值, 从而直接影响光合作用的进行, 导致了午休现象的出现。

2.2 净光合速率与生理生态因子间的关系

2.2.1 简单相关分析 北美枫香和美国红枫的 *Pn* 受外部环境因子和内部生理因子的影响不同。表 1 表明, 与北美枫香显著相关的生理生态因子是气孔导度 (*Cond*)、蒸腾速率 (*Tr*)、光照强度 (*PAR*)。其中 *Cond*、空气湿度 (*RH*) 达极显著水平, *Tr*、*PAR* 达显著水平; 与美国红枫 *Pn* 显著相关的生理生态因子是 *Cond*、*Tr*、叶面水汽压亏损 (*VpdL*)、叶温 (*Tleaf*) 和 *RH*, 其中 *Tr*、*VpdL*、*Tleaf* 和 *RH* 呈极显著相关, *Cond* 呈显著相关。

2.2.2 *Pn* 与生理生态因子的通径分析 林德光认为, 简单相关性分析所反映的只是因子数字间的表面联系, 与事物的本质联系未必一致的。所以, 只有通过更为深入的通径分析, 才可揭示这其中的因果联系。

表 1 净光合速率和生理生态因子的相关系数

Table 1 Correlation analysis between net photosynthetic rate and environmental factors

| 树种 Cultivar | <i>Cond</i> | <i>Ci</i> | <i>Tr</i> | <i>VpdL</i> | <i>Tair</i> | <i>Tleaf</i> | <i>RH</i> | <i>PAR</i> |
|-------------------------------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|-----------|------------|
| 北美枫香 <i>Liquidambar styraciflua</i> | 0.884** | -0.568 | 0.648* | 0.201 3 | -0.326 0 | 0.439 | 0.637 6** | 0.954 6* |
| 美国红枫 <i>Acer rubrum</i> | 0.702* | -0.510 | 0.745** | 0.457 8** | 0.563 4** | 0.520** | 0.302 8** | 0.581 2 |

注: *、**分别为 0.05 及 0.01 水平上的显著性差异。

Note: “*” and “**” refer to significant difference at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

表 2 北美枫香不同性状对 P_n 的通路分析
Table 2 Path analysis of different factors at P_n of *Liquidambar styraciflua*

| 性状 Character | 直接作用 Direct effect | 间接作用 Indirect effect | | | | | | | | 总作用 Total effect |
|-----------------|-----------------------|----------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|-----------|------------|---------------------|
| | | <i>Cond</i> | <i>Ci</i> | <i>Tr</i> | <i>VpdL</i> | <i>Tair</i> | <i>Tleaf</i> | <i>RH</i> | <i>PAR</i> | |
| <i>Cond</i> | 0.536 5 | | -0.001 3 | 0.960 1 | 0.002 1 | 0.065 3 | -0.061 3 | -0.016 8 | 0.000 0 | 1.484 6 |
| <i>Ci</i> | 0.432 9 | -0.327 1 | | -0.451 0 | 0.079 1 | 0.054 8 | -0.021 1 | -0.002 5 | 0.000 0 | -0.234 9 |
| <i>Tr</i> | 0.699 3 | 5.265 8 | -0.001 0 | | 0.165 4 | 0.155 3 | -0.165 1 | -0.016 5 | 0.000 0 | 6.103 2 |
| <i>VpdL</i> | 0.534 1 | 0.032 1 | 0.003 0 | 0.375 1 | | 0.261 5 | -0.321 8 | 0.000 3 | 0.000 1 | 0.884 4 |
| <i>Tair</i> | 0.438 0 | 1.239 8 | 0.000 5 | 0.563 4 | 0.521 5 | | -0.321 9 | -0.006 4 | 0.000 0 | 2.434 9 |
| <i>Tleaf</i> | -0.306 4 | 0.723 1 | 0.000 4 | 0.427 0 | 0.651 3 | 0.265 4 | | 0.034 1 | 0.000 0 | 1.794 9 |
| <i>RH</i> | -0.089 7 | 2.565 2 | 0.000 2 | 0.551 2 | -0.003 2 | 0.065 4 | -0.054 8 | | 0.000 0 | 3.034 3 |
| <i>PAR</i> | -0.045 2 | 0.450 0 | -0.000 4 | 0.321 6 | 0.521 3 | 0.143 7 | -0.271 9 | -0.005 7 | | 1.113 4 |

表 3 美国红枫不同性状对 P_n 的通路分析
Table 3 Path analysis of different factors at P_n of *Acer rubrum*

| 性状 Character | 直接作用 Direct effect | 间接作用 Indirect effect | | | | | | | | 总作用 Total effect |
|-----------------|-----------------------|----------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|-----------|------------|---------------------|
| | | <i>Cond</i> | <i>Ci</i> | <i>Tr</i> | <i>VpdL</i> | <i>Tair</i> | <i>Tleaf</i> | <i>RH</i> | <i>PAR</i> | |
| <i>Cond</i> | 0.079 6 | | -0.002 1 | 1.201 3 | 0.000 1 | 0.023 0 | -0.067 4 | -0.007 2 | 0.001 0 | 1.228 3 |
| <i>Ci</i> | 0.421 7 | -0.316 5 | | -0.413 6 | 0.000 2 | 0.146 2 | -0.016 5 | 0.002 3 | 0.000 0 | -0.176 2 |
| <i>Tr</i> | 1.063 4 | 0.588 6 | -0.002 0 | | 0.000 3 | 0.053 2 | -0.087 6 | -0.004 5 | 0.000 2 | 1.611 6 |
| <i>VpdL</i> | 0.000 5 | 0.054 3 | 0.001 2 | 0.541 1 | | 0.103 1 | -0.198 7 | 0.003 4 | 0.000 3 | 0.505 2 |
| <i>Tair</i> | 0.158 6 | 0.186 7 | 0.001 2 | 0.602 3 | 0.000 6 | | -0.127 6 | 0.001 3 | 0.000 2 | 0.823 3 |
| <i>Tleaf</i> | -0.308 3 | 0.341 5 | 0.000 6 | 0.679 8 | 0.000 7 | 0.106 7 | | -0.000 4 | 0.000 3 | 0.820 9 |
| <i>RH</i> | -0.023 3 | 0.432 2 | -0.001 3 | 0.765 5 | -0.000 2 | -0.016 5 | -0.003 6 | | 0.000 0 | 1.152 8 |
| <i>PAR</i> | 0.136 3 | 0.276 4 | 0.000 3 | 0.652 3 | 0.000 6 | 0.098 7 | -0.134 8 | 0.000 3 | -0.000 2 | 1.029 9 |

分析通路系数表可以看出, 在北美枫香的通路系数中, Tr 与 P_n 的通路系数最大(为 0.699 3), 其次为 $Cond$ 和 $VpdL$ (分别为 0.536 5 和 0.534 1), $Tleaf$ 与 P_n 的通路系数最小(为 -0.306 4); 在美国红枫的通路系数中, Tr 和 P_n 的通路系数最大(1.063 4), 其次为 Ci (0.421 7), $Tleaf$ 与 RH 通路系数最小(-0.308 3 和 -0.023 3)。说明 Tr 这个因子对枫香和红枫的 P_n 影响最大, 其他因子相对 P_n 的作用则较小。

从表 2 和表 3 可知, Tr 对枫香和红枫的 P_n 的直接作用效应值都最大, 分别为 0.536 5 和 0.079 6; 2 种植物的 Tr 对 P_n 的间接作用也最大, 分别为 6.103 2 和 1.611 6。可以看出直接效应值和间接效应的影响值是一致的, 间接效应辅助直接效应, 两者共同产生效应; 在这 2 种植物中, 各因子间间接影响效应值变化范围都比较大, 枫香为 -0.306 4 ~ 0.699 3, 红枫为 -0.308 3 ~ 1.063 4。从结果上可以看出, $Cond$, Ci , $VpdL$ 和 $Tleaf$ 对枫香 P_n 的影响及 Ci 和 $Tleaf$ 对红枫的 P_n 影响, 直接作用在很大程度上有决定性作用, Tr 则在直接效应和间接效应的相互作用下影响 2 种植物的 P_n 。

3 小结与讨论

在自然条件下, 植物光合作用的日变化曲线一般有 2 种类型, 一种是单峰型, 中午光合速率最高; 另一种是双峰型, 上午、下午各有一个高峰。在美国红枫与北美枫香光合作用过程中, 净光合速率在上午、下午各有一个高峰, 可见美国红枫与北美枫香光合作用的日变化为双峰型曲线。所以适宜的光照是他们快速生长的保证。

从 2 种树种的蒸腾速率对比来看, 美国红枫的蒸腾速率相对与北美枫香的蒸腾速率则比较小, 所以北美枫香相对于美国红枫来说需要更多的水分来补充由于蒸腾而自身丧失的水分。

美国红枫与北美枫香的气孔导度中午到达谷底可能是由于高温下气孔部分关闭造成的。可以看出气孔导度与光合速率有直接的关系, 因此在移植时若给他们适当的降温, 比如采用喷水等措施会增加他们的光合利用率。

北美红枫与美国枫香有明显的“午休”现象。“午休”现象是植物在高温强光天气下出现的普遍现象, 前人的研究表明: 高温、强光、低湿和干旱土壤等条件引起的部分气孔关闭和光合作用光抑制

是发生“午休”的主要原因。但对于不同的植物来说,引起光合速率“午休”的原因可能不同^[11-15]。光合有效辐射、分析气孔限制值,气孔导度、胞间CO₂浓度、说明强光以及高温引起的部分气孔关闭是造成“午休”的主要原因。“午休”使中午太阳能量最多的时候利用率很低,不利于作物的产量形成。在生产中遇到高温,特别是在高光强下出现高温的干热天气要注意降温、保湿,如叶面喷雾等措施降低周围小环境的温度,减弱“午休”。

简单相关性分析表明:对枫香和红枫的 P_n 有显著影响的因子分别为 Tr 、 $Cond$ 、 PAR 、 RH 和 Tr 、 $Cond$ 、 $Tair$ 、 $Tleaf$ 、 RH 和 $VpdL$ 。只能在表面上看出二者间的差异,从相关通径分析可以看出,枫香 P_n 的主要影响因子有 Tr 、 $Cond$ 和 $VpdL$,而红枫 P_n 则的影响因子则主要是 Tr 和 Ci 。而在枫香的生理生态因子间的通径分析中, Tr 、 $Cond$ 、 $Tleaf$ 、 $Tair$ 和 $VpdL$ 对的间接影响值分别为 0.699 3、0.536 5、-0.306 4、0.438 0 和 0.534 1 达到了显著水平;在红枫生理生态因子间的通径分析中, RH 对 Tr 的间接效应值为 0.765 5 达显著水平。所以在生产栽培中,对 2 种植物的养护方式要有所区别,红枫比起枫香对环境要更加敏感,枫香需要注意光强的控制,而红枫则更加注重温度和湿度的调控。

从美国红枫与北美枫香的光合特性的各项指标来看,他们的生理生化趋势相同,因而它们的移植可以相互借鉴。如果适合栽植美国红枫的地方,那么北美枫香的移植养护可以参照美国红枫。如果是北美枫香栽植比较好的地方,同样应该也适宜栽植美国红枫。

北美枫香与美国红枫在进行光合作用时会出现“午休”现象,在高光强下或出现高温时会抑制光合作用,影响植物的固碳作用和有机物的产生。在中午出现“午休”时,气孔导度随温度升高而下降,气孔限制因素是形成光合“午休”的直接原因,“午休”使中午太阳能量最多的时候利用率很低,不利于植物的生长。减轻或避免“午休”现象是提高植物生长能力的一个重要方面。

分析 2 种植物生理生态因子与 P_n 多元相关变

量的结果,表明即使是光合日变化规律趋近的植物,由于不同的生态类型,生理生态因子对其 P_n 受影响的差异也较大,不能通过某一种简单分析来确定生理生态因子与 P_n 之间的影响关系。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第 44 卷第 3 分册)M. 北京: 科学出版社, 1980.
- [2] 杨昌熙, 刘兴玉. 中国槭树资源与观赏利用[J]. 西南农业大学学报, 1998, 20(1): 67-71.
- [3] 孙霞, 刘洪剑, 傅玉兰, 等. 江淮地区引种楸树光合生理特性的比较研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(5): 635-639.
- [4] 赵敏, 叶萌, 严晓宇, 等. 黄柏幼树光合特性研究[J]. 林业科技开发, 2007, 21(5): 43-46.
- [5] 柯世省, 金则新, 陈贤田, 等. 浙江天台山七子花等 6 种阔叶树光合生态特性[J]. 植物生态学报, 2002, 26(3): 363-371.
- [6] 孙磊, 章铁, 李宏, 等. 柿树光合速率日变化及其影响因子的研究[J]. 北方果树, 2006(3): 4-6.
- [7] 刘光斌, 刘苑秋, 黄长干, 等. 5 种野生木本植物油性质及其制备生物柴油的研究[J]. 江西农业大学学报, 2010, 32(2): 339-344.
- [8] 冯建灿, 张玉洁. 喜树光合速率日变化及其影响因子的研究[J]. 林业科学, 2002, 38(4): 34-39.
- [9] 张翠, 吴统贵, 方炎明, 等. 滨海围垦地 2 种木本植物光合特性的研究[J]. 福建林学院学报, 2011, 31(1): 52-55.
- [10] 邱国雄. 植物光合作用的效率. 余叔文. 植物生理和分子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 236-243.
- [11] 陈模舜, 柯世省, 倪琼琼, 等. 田问珊瑚树净光合速率及生态因子的日变化[J]. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2004, 27(3): 299-300.
- [12] Levitt J. Rcsponse of plants to environment stress[M]. Academic Press, New York, 1972.
- [13] 张江涛, 刘友全, 赵蓬晖, 等. 欧美杨无性系幼苗的光合生理特性比较[J]. 中南林业科技大学, 2007, 27(4): 8-11; 22.
- [14] Aarnio E, Garr M, Hanohano J, et al. Effects of drought on red maple (*Acer rubrum*) branch growth[J]. Journal of Ecological Research, 2002(4): 31-36.
- [15] Bauerle W L, Whitlow T H, Setter T L, et al. Abscisic acid synthesis in *Acer rubrum* L. Leaves-A vapor-pressure-deficit-mediated response [J]. Amer Soc Hort Sci, 2004, 129(2): 182-187.