

不同种源地北美鹅掌楸光合特性研究

韩彪, 李文清*, 鲁仪增, 王磊, 董昕, 解孝满

(山东省林木种质资源中心, 山东 济南 250014)

摘要:以 3 个种源地北美鹅掌楸无性系为试验材料, 利用 LI-6400XT 便携式光合测定系统, 研究了净光合速率日变化及对有效光辐射和 CO₂ 的响应等光合特性。结果表明, 宾夕法尼亚种源和俄亥俄种源北美鹅掌楸的 P_n 日变化曲线呈双峰型, 具有明显的午休现象, 峰值出现在 10:00 和 14:00, 纽约种源北美鹅掌楸不具有明显的午休现象。光响应曲线和 CO₂ 响应曲线数据分析表明, 纽约种源北美鹅掌楸光饱和点(1 180.4 μmol·m⁻²·s⁻¹)和光补偿点(10.27 μmol·m⁻²·s⁻¹)均高于另外 2 个种源。这种趋势也同样适用于 CO₂ 饱和点(1 595.0 μmol·m⁻²·s⁻¹)和 CO₂ 补偿点(107.5 μmol·m⁻²·s⁻¹)。在北方低光照环境下, 纽约种源较高的光补偿点和 CO₂ 补偿点, 不利于有机物的积累, 宾夕法尼亚种源对光照和 CO₂ 要求较低, 更适合北方环境。

关键词:北美鹅掌楸; 种源; 光合特性

中图分类号: S792.21

文献标志码: A

文章编号: 1001-7461(2015)04-0073-05

Photosynthetic Characteristics of *Liriodendron tulipifera* from Different Provenances

HAN Biao, LI Wen-qing*, LU Yi-zeng, WANG Lei, DONG Xin, XIE Xiao-man

(Center for Forest Genetic Resource of Shandong Province, Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: Diurnal changes of photosynthesis, light response curves and CO₂ response curves of the *Liriodendron tulipifera* clones which introduced from three different provenances were researched by LI-6400XT. The results showed that the diurnal changes of the net photosynthetic rate of both Pennsylvania's and Ohio's clones displayed twin peaks with an obvious midday depression. The peaks appeared in 10:00 and 14:00. However, midday depression disappeared in the New York's clone. The analysis of light response and CO₂ response curves showed that both the light saturation point (1 180.4 μmol·m⁻²·s⁻¹) and the light compensation point (10.27 μmol·m⁻²·s⁻¹) of New York's clone were higher than those of the Pennsylvania's and Ohio's clones. This trend was also applicable to the CO₂ (1 595.0 μmol·m⁻²·s⁻¹) saturation point and CO₂ compensation point (107.5 μmol·m⁻²·s⁻¹). Under the low light conditions in northern China, light compensation point and CO₂ compensation point were higher in New York provenance, so it was not conducive to the accumulation of organic matter. Pennsylvania's provenance was more suitable for the northern environment because it needs little light and CO₂.

Key words: *Liriodendron tulipifera*; provenance; photosynthesis

北美鹅掌楸(*Liriodendron tulipifera*)属木兰科鹅掌楸属落叶乔木。主要分布于美国中东部, 因其生长速度快、树形优美而成为很好的园林观赏树

种^[1]。我国部分地区自 20 世纪 40 年代开始零散引种北美鹅掌楸, 20 世纪 90 年代开展了规模化引种和地理种源试验^[2-3]。目前, 国内外在北美鹅掌楸种

收稿日期: 2014-10-17 修回日期: 2014-12-08

基金项目: 山东省农业良种工程重大课题(鲁农良种[2010]6号)。

作者简介: 韩彪, 男, 工程师, 研究方向: 林木种质资源收集、保护与利用。E-mail: hanbiaook831228@163.com

* 通信作者: 李文清, 男, 研究员, 研究方向: 林木种质资源收集、保护与利用。E-mail: lmzzy@163.com

子发芽、系统发育、胚胎学研究、引种及杂交育种等方面开展了诸多研究^[4]。这些研究主要集中在长江以南的地区,针对适合北方气候的北美鹅掌楸品种选育研究还鲜有报道^[5]。因此,选育适合北方气候的北美鹅掌楸品种就成为该资源在国内推广利用的瓶颈技术。

光合特性研究是林木引种驯化工作的重要内容。研究自然环境条件下北美鹅掌楸光合特性及其对光照变化的响应,有利于了解它对环境中的适应性,促进北美鹅掌楸资源的开发利用^[6-7]。目前,国内对鹅掌楸属植物光合特性的研究主要集中在对鹅掌楸(*L. chinense*)和亚美马褂木(杂交鹅掌楸)(*L. sino-americanum*)光合特征方面的研究^[8-9],而对于不同种源地北美鹅掌楸光合特性的研究报道相对较少^[10]。本研究通过对不同种源地北美鹅掌楸光合特性的比较研究,揭示了它们对环境适应能力的差异,希望能够从中选育出适合北方地区栽植的优良品种,为适地适树的引种、品种选育及栽培利用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地点设在山东林木种质资源中心枣园种质资源库。试验材料为2006年春季从美国宾夕法尼亚州(PA)、俄亥俄州(OH)、纽约州(NY)引种繁育,2008年春季嫁接的抗寒无性系,2009年春季定植,株行距为2 m×3 m。

1.2 研究方法

采用美国 Li-COR 公司的 LI-6400XT 便携式光合测定系统,2014年8月19日,天气晴朗,光合作用日变化从6:00—18:00每2 h测量1次净光合速率(P_n),光合有效辐射(PAR)、蒸腾速率(T_r)、胞间CO₂浓度(C_i)和气孔导度(G_s)等指标,测定3株,即3次重复。2014年8月14日—15日,天气晴朗,9:00—11:00,采用 Li-6400-02B 红蓝光源,测定光响应曲线,PAR设定在0~2 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内,CO₂浓度控制在400 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,测量前进行一定时间的光诱导。2014年8月20日—21日,天气晴朗,9:00—11:00,采用进口CO₂钢瓶,测定二氧化碳响应曲线(P_n -CO₂),设定CO₂浓度值在0~1 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 范围内,通过系统自动测量程序测定相应的 P_n ^[11-12]。

1.3 数据分析

采用 SPSS19.0 和光合计算软件 3.3 对光响应曲线和 CO₂ 响应曲线拟合计算^[13]。

2 结果与分析

2.1 光合指标日变化

植物光合作用是受外界环境影响的连续生化反应,对植株白天的光合参数进行连续的测定,可以研究植物对环境的适应性和对外界环境因子的利用能力^[14]。由图1A中可以看出:6:00和18:00的净光合速率均为负值,说明早晨和傍晚由于光线较弱,光合作用产生的有机物低于呼吸作用消耗的有机物,北美鹅掌楸处于有机物消耗阶段,8:00左右才能达到有机物供需平衡,既光补偿点。早晨3个种源地北美鹅掌楸达到光补偿点的时间基本一致,傍晚达到光补偿点的时间顺序为俄亥俄种源早于宾夕法尼亚种源,纽约种源最晚,因此纽约种源利用光照合成有机物的有效时间更长^[15]。宾夕法尼亚种源和俄亥俄种源北美鹅掌楸的 P_n 日变化曲线具有明显的双峰现象,峰值分别出现在10:00和14:00,而纽约种源北美鹅掌楸没有出现明显的“午休现象”。图1B和图1D变化趋势基本一致,说明气孔导度和蒸腾速率密切正相关(相关系数 $p=0.97$)。在图1C中,不同种源地北美鹅掌楸的 C_i 变化呈现“V”形曲线,主要是因为上午随着光合作用的增强,CO₂消耗增加,胞间CO₂浓度降低,而下午 P_n 明显减小,胞间CO₂浓度有所上升导致的。

2.2 光响应曲线

光响应曲线是植物对外界光照强度变化适应能力的体现^[16]。利用直角双曲线的修正模型进行光曲线拟合,如图2所示,北美鹅掌楸的 P_n -PAR 曲线拟合较好,3个种源拟合系数均达到0.99以上。当 $PAR < 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,3个种源的北美鹅掌楸 P_n 都随着光强的增加呈直线上升, $PAR > 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 后, P_n 增速变缓,之后随着光强增大, P_n 逐渐趋于平缓,出现光饱和现象。在整个光响应过程中,3个种源北美鹅掌楸净光合速率变化趋势是 $P_{NY} > P_{OH} > P_{PA}$,说明纽约种源对光照需求最大,其次是俄亥俄种源,最后是宾夕法尼亚种源。

经过光合软件计算得到不同种源地北美鹅掌楸的 P_{max} 、 R_d 、 LSP 、 LCP 、 AQY 等相关光合作用参数(表1)。纽约种源北美鹅掌楸 P_{max} 达到13.6 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,较宾夕法尼亚种源和俄亥俄种源分别高出98%,54%,说明纽约种源对于光照需求更大,能够忍受较强的光照,这与图1A中只有纽约种源没有出现明显的“午休现象”相符合。纽约种源的北美鹅掌楸具有较高的光饱和点(LSP)和光补偿点(LCP), LSP 较高有利于有机物的制造,但是 LCP 较

高不利于有机物的积累。俄亥俄种源北美鹅掌楸 AQY 最高,说明它在弱光阶段对光能的转化利用效

率最高,纽约种源北美鹅掌楸 R_d 最高说明该种源暗呼吸速率较大,不利于有机物的积累。

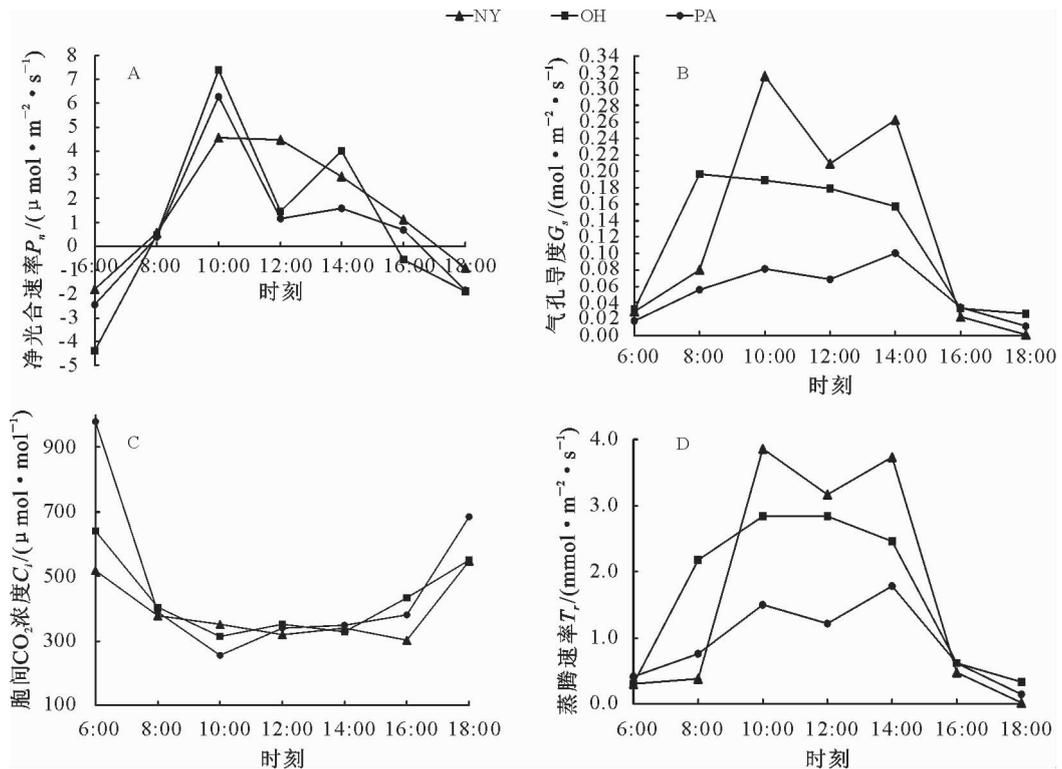


图 1 气体交换参数的日变化

Fig. 1 The diurnal change of P_n and gas exchange parameters

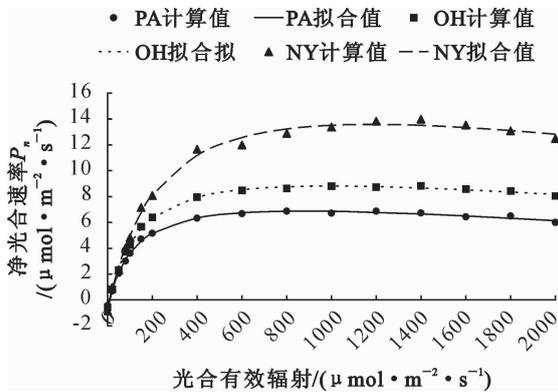


图 2 光响应曲线

Fig. 2 The light response curves

2.3 二氧化碳响应曲线 ($P_n - CO_2$)

植物光合作用所需要的碳源,主要是空气中的

CO_2 ,空气中 CO_2 含量一般占总体积的 0.033%,对植物的光合作用来说是比较低的,因此 CO_2 就成为植物生物量积累的限制因素之一^[17]。在控制光照强度条件下,测定不同 CO_2 浓度下北美鹅掌楸叶片光合速率的变化(图 3)。试验结果表明, $P_n - CO_2$ 响应曲线拟合度都在 0.98 以上。从图 3 可以看出,当 CO_2 的浓度 $< 800 \mu mol \cdot mol^{-1}$ 时,不同种源的北美鹅掌楸 P_n 增长均随 CO_2 浓度的增加而迅速上升。 CO_2 的浓度 $> 800 \mu mol \cdot mol^{-1}$ 之后,宾夕法尼亚种源和俄亥俄种源北美鹅掌楸 P_n 增速放缓,说明 CO_2 浓度的增加对植物的光合作用的促进作用开始明显降低,而纽约种源的 P_n 增速直到 $1\ 200 \mu mol \cdot mol^{-1} CO_2$ 浓度时才明显降低,说明纽约种源北美鹅掌楸更加适应高浓度 CO_2 环境。

表 1 光响应曲线参数分析

Table 1 The parameter analyses of the light response curves

名称	P_{nmax} $/(\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$	AQY $/(\mu mol \cdot \mu mol^{-1})$	LSP $/(\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$	LCP $/(\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$	R_d $/(\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1})$	拟合系数
宾夕(PA)	$6.88 \pm 0.11a$	0.073 6	$875.5 \pm 6.11b$	$7.29 \pm 0.23a$	$0.51 \pm 0.05b$	0.99
俄亥俄(OH)	$8.81 \pm 0.18a$	0.085 9	$990.0 \pm 5.38b$	$8.11 \pm 0.82c$	$0.66 \pm 0.15b$	0.99
纽约(NY)	$13.58 \pm 0.13b$	0.082 8	$1\ 180.4 \pm 1.52b$	$10.27 \pm 0.35a$	$0.82 \pm 0.03a$	0.99

结合直角双曲线的修正模型,计算出 P_n -CO₂ 响应曲线的各个参数(表 2)。宾夕法尼亚种源和俄亥俄种源北美鹅掌楸的 P_{nmax} 分别为 17.4、17.8 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。较纽约种源的北美鹅掌楸分别高出 45.7%、49.4%,同时纽约种源初始羧化效率

较低,为 0.017 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,说明纽约种源北美鹅掌楸对 CO₂ 利用效率较低。纽约种源北美鹅掌楸 C_{isat} 和 CO₂ 补偿点较高说明该种源北美鹅掌楸对于环境 CO₂ 需求量较大。

表 2 CO₂ 响应曲线参数分析

Table 2 The parameter analyses of the CO₂ response curves

名称	P^*_{nmax} /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	初始羧化效率 /($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	C_{isat} /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	CO ₂ 补偿点 /($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	R_p /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	拟合系数
宾西(PA)	17.36 ± 1.2a	0.032 4	1 243.16 ± 15.3a	88.51 ± 3.7a	2.76 ± 0.18c	0.98
俄亥俄(OH)	17.80 ± 0.7b	0.033 2	1 231.63 ± 5.2a	82.30 ± 4.3b	2.64 ± 0.09a	0.99
纽约(NY)	11.91 ± 0.5b	0.017 2	1 595.03 ± 12.2b	107.54 ± 3.91	1.79 ± 0.07b	0.99

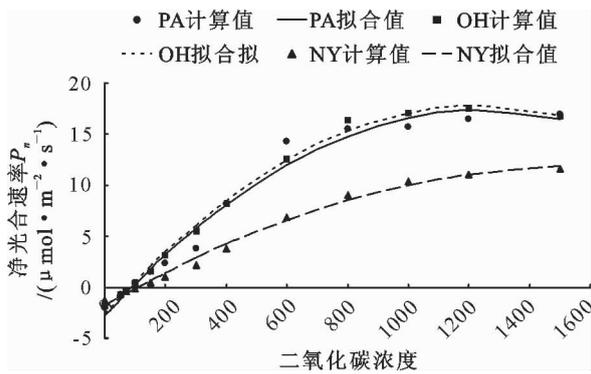


图 3 CO₂ 响应曲线

Fig. 3 The CO₂ response curves

3 结论与讨论

植物的生长发育与其光合能力密切相关,系统研究不同种源地北美鹅掌楸光合生理特性,能够说明不同种源地北美鹅掌楸对外界环境变化的适应性以及对不同光强和不同 CO₂ 浓度的利用效率^[18-19],从而为扩大繁殖和精细管理,适地适树地选育适应不同生长环境的品种提供理论指导^[20]。

宾夕法尼亚种源和俄亥俄种源北美鹅掌楸的净光合速率日变化曲线为双峰型,第 1 个峰值出现在 10:00 左右,第 2 个峰值出现在 14:00 左右,中午有一个明显的午休现象,纽约州种源的北美鹅掌楸没有出现明显的午休现象,结合光响应曲线分析可知纽约种源北美鹅掌楸能够忍受较高的光强,光饱和点达到 1 180 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,大于宾夕法尼亚种源和俄亥俄种源的 990 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,875 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,因此没有出现明显午休现象。午休现象是植株对光抑制的一种适应表现,当光辐射强度大时,植株表现为持续的光抑制,此时植株通过调节光的能量分配,达到光吸收和热耗散之间的平衡,从而保护自身不受光辐射和高温的灼伤,以此形成对外界环境的响应^[21-22]。不同种源地北美鹅掌楸存在午休差异,这就为将来适地适树选择引种地提供了

参考因素^[23],纽约种源北美鹅掌楸的光响应指标 P_{nmax} 、 LSP 、 LCP 比另外 2 个种源平均值高出 76%、27%、34%,同时它的 CO₂ 响应指标 C_{isat} 和 CO₂ 补偿点比另外 2 个种源均值高出 29%、26%,这说明纽约种源北美鹅掌楸对光照和 CO₂ 的需求更大,更适宜栽植在高光照地区和 CO₂ 浓度较大的地区。在同等 CO₂ 条件下,纽约种源北美鹅掌楸的 P_{nmax} 仅为宾夕法尼亚的 67.8%,而且纽约种源光补偿点和呼吸速率较高,这些都不利于有机物的积累,因此光照和 CO₂ 浓度对纽约种源鹅掌楸生长构成限制因素,而宾夕法尼亚种源和俄亥俄种源更能适合北方低光照地区的生长。

文献表明,鹅掌楸和亚美马褂木光饱和点约为 1 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,高于上述研究中 3 个种源的北美鹅掌楸光饱和点数值^[24]。以上研究说明在高光照地区引种北美鹅掌楸可能影响其正常生长,产生一定程度的光抑制现象,这与其他研究得出北美鹅掌楸在南方高光照地区长势一般的结论基本一致^[3],北方低光照区域可能更适合北美鹅掌楸生长,这为北美鹅掌楸在北方地区引种提供了一定理论支撑。

综上所述,不同种源地北美鹅掌楸在光合特性方面存在较大的差异,这为选育不同适应性的品种提供了丰富的材料。宾夕法尼亚种源的北美鹅掌楸对光照强度和环境 CO₂ 浓度要求较低,呼吸作用消耗能量较少,能量转化率较高,适合作为北方用材品种和园林绿化品种进行选育。纽约种源北美鹅掌楸能够忍受较高的光照强度,适宜栽植在高光照地区,光照不足将会限制其生长。目前,对不同种源地北美鹅掌楸种质资源的研究较少,特别是其对环境适应性的研究处于探索阶段,因此需要加大系统研究力度,以期在不远的将来,选育出适应北方地区栽植的优良品种。

参考文献:

- [1] 陈颖,周统建,曹福亮,等. 北美鹅掌楸组培快繁技术体系的建立[J]. 浙江林业科技, 2009, 29(6):29-31.
- [2] 任宪威. 树木学(北方本)[M]. 北京:中国林业出版社, 1997: 107-108.
- [3] 陈孝丑. 北美鹅掌楸不同种源在闽北山区的生长表现及评价[J]. 福建林业科技, 2008, 35(1):81-84.
- [4] 李建民,谢芳,封剑文,等. 北美鹅掌楸种源在福建省生长和材性的表现[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2001, 25(4): 26-30.
LI J M, XIE F., FENG J W, *et al.* Display of *Liriodendron tulipifera* L. provenance in Fujian[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2001, 25(4): 26-30. (in Chinese)
- [5] 李文清,鲁仪增,刘丹,等. 两种源北美鹅掌楸生长量变异分析研究[J]. 黑龙江农业科学, 2010(1):66-68.
- [6] 郭志华,张宏达,李志安,等. 鹅掌楸苗期光合特性的研究[J]. 生态学报, 1999, 19(2):164-169.
- [7] 陈辉,阮宏华,胡海波,等. 鹅掌楸光合性能的测定与分析[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2003, 27(1):72-74.
CHEN H, RUAN H H, HU H B, *et al.* A study on the photosynthetic characteristics of *Liriodendron chinense*[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2003, 27(1):72-74. (in Chinese)
- [8] 季孔庶,杨秀艳,杨德超,等. 鹅掌楸属树种物候观测和杂种家系苗光合日变化[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2002, 26(6):28-32.
JI K S, YANG X Y, YANG D C, *et al.* Phenological observation and diurnal change of net photosynthetic rate of *Liriodendron*[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2002, 26(6):28-32. (in Chinese)
- [9] 张晓平,王沁峰,方炎明,等. 淹水胁迫对浙江种源鹅掌楸光合特征的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2007, 31(3):136-138.
ZHANG X P, WANG Q F, FANG Y M, *et al.* Effects of different water stress on photosynthetic characters of *Liriodendron chinense* from Zhejiang Province[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2007, 31(3): 136-138. (in Chinese)
- [10] 孙志勇,季孔庶. 干旱胁迫对杂交鹅掌楸无性系光合特性的影响[J]. 北方园艺, 2010(2):86-89.
- [11] 吴静,王小德,叶建峰,等. 涝渍胁迫对鸡爪槭幼苗光合生理特性的影响[J]. 西北林学院学报, 2014, 30(5):26-30.
WU J, WANG X D, YE J F, *et al.* Effects of water logging Stress on the photosynthetic physiological [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 30(5):26-30. (in Chinese)
- [12] YE Z P, YU Q. Comparison of new and several classical models of photosynthesis in response to irradiance [J]. Journal of Plant Ecology, 2008, 32:1356-1361.
- [13] YE Z P, YU Q. Comparison of photo-synthetic response to intercellular CO₂ and air CO₂[J]. Journal of Ecology, 2009, 28:2233-2238. (in Chinese)
- [14] 黄秦军,黄国伟,丁昌俊,等. 美洲黑杨杂种不同生长势无性系光合特征[J]. 林业科学, 2013, 49(3):56-62.
HUANG Q J, HUANG G W, DING C J, *et al.* Comparative analysis of photosynthetic characteristics of *Populus deltoides* clones with different growth vigor[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2013, 49(3):56-62. (in Chinese)
- [15] YE Z P, YU Q. A coupled model of stomatal conductance and photosynthesis for winter wheat [J]. Photosynthetica, 2008, 46:637-640.
- [16] 任军,范丽颖,郭继勋,等. 花楸幼苗光合特性及其影响因子分析[J]. 东北师范大学学报:自然科学版, 2006, 38(2):96-100.
REN J, HAN L Y, GUO J X, *et al.* Study on photosynthesis of young *Sorbus pohuashanensis* Hedl and the effect of ecological factors[J]. Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition, 2006, 38(2):96-100. (in Chinese)
- [17] BRODRIBB T J, HOLBROOK N M. Forced depression of leaf hydraulic conductance in situ: effects on the leaf gas exchange of forest trees [J]. Functional Ecology, 2007, 21(4): 705-712.
- [18] GU L, PALLARDY S G, TU K, *et al.* Reliable estimation of biochemical parameters from C3 leaf photosynthesis-intercellular carbon dioxide response curves[J]. Plant, Cell & Environment, 2010, 33(11):1852-1874.
- [19] LESTARI R, EBERT G, HUYSKENS-KEIL S. The Effect of light and water supply on growth, net CO₂ assimilation rate and mineral content of Salak (*Salacca zalacca* (Gaertn.) Voss) seedlings [J]. International Journal of Biology, 2011, 3(3):94-104.
- [20] XU D Q, SHEN Y G. Diurnal variations in the photosynthetic efficiency in plants [J]. Acta Phytophysiological Sinica, 1997, 23(4):410-416.
- [21] 俞继红. 3种彩叶植物的光合特性比较[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(4):21-25.
YU J H. A comparison of photosynthetic characteristics between three Color-leafed plants [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(4):21-25. (in Chinese)
- [22] ZHANG J L, MENG L Z, CAO K F. Sustained diurnal photosynthetic depression in uppermost-canopy leaves of four dipterocarp species in the rainy and dry seasons: does photorepiration play a role in photoprotection [J]. Tree Physiol, 2009, 29(2):217-228.
- [23] 赵曦阳,马开峰,张明,等. 3年生毛白杨无性系光合特性的比较研究[J]. 林业科学研究, 2011, 24(3):370-378.
ZHAO X Y, MA K F, ZHANG M, *et al.* Comparative analysis of the photosynthetic characteristics of Three-year-old *Populus tomentosa* Clones [J]. Forest Research, 2011, 24(3):370-378. (in Chinese)
- [24] 杨秀艳,季孔庶,王章荣,等. 杂交鹅掌楸苗期光合特性的研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(2):39-43.
YANG X Y, JI K S, WANG Z R, *et al.* A study on photosynthetic traits of hybrid *Liriodendron* seedlings [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 20(2):39-43. (in Chinese)