

白花树不同种源苗木光合-CO₂ 响应

赵 勋 李因刚 柳新红* 朱光权

(浙江省林业科学研究院 浙江 杭州 310023)

摘要:以白花树江西大余、贵州从江、湖南宜章、福建永安、广西上思和云南屏边等 6 个种源的 1 年生苗为试验材料,利用 Li-6400 便携式光合作用测定系统对自然条件下不同种源的光合-CO₂ 响应特性进行了研究。结果表明:光合-CO₂ 响应参数存在不同程度的种源差异,CO₂ 补偿点最低的是江西大余种源(54.9 μmol/mol),CO₂ 饱和点最高的是云南屏边种源(2 244.2 μmol/mol)。随外界 CO₂ 浓度升高,所有参试种源的水分利用效率 WUE 均呈现线性上升,气孔导度 G_s 与蒸腾速率 T_r 表现出先上升后下降的趋势。

关键词:白花树;苗木;种源;光合-CO₂ 响应

中图分类号:Q945.11 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2011)06-1128-06

Photosynthetic-CO₂ Response of Seedlings of Different *Styrax tonkinensis* Provenances

ZHAO Xun, LI Yin-gang, LIU Xin-hong* ZHU Guang-quan

(Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, China)

Abstract: In this study, one-year-old seedlings of 6 *Styrax tonkinensis* provenances including Dayu of Jiangxi, Congjiang of Guizhou, Yizhang of Hunan, Yong'an of Fujian, Shangsi of Guangxi and Pingbian of Yunnan, were selected as test materials. Li-6400 portable photosynthesis system was used to detect the photosynthetic-CO₂ response characteristics of different provenances under natural conditions. The results are as follows: the photosynthetic-CO₂ response parameters were different to some extent among different provenances. The CO₂ saturation point of Pingbian of Yunnan was the highest among the 6 provenances, while the CO₂ compensation point of Dayu of Jiangxi was the lowest. As the CO₂ concentration rose, the WUE (water using efficiency) curve of these selected provenances showed linear rise, while G_s (Stomatal conductance) and T_r (Transpiration rate) showed the tendency of first ascending and then descending.

Key words: *Styrax tonkinensis*; seedlings; provenances; photosynthetic-CO₂ response

白花树(*Styrax tonkinensis*)属安息香科安息香属落叶乔木,又名越南安息香、白背安息香和滇桂野茉莉等,为热带、亚热带树种^[1]。在疏松肥沃的土壤上表现出极好的速生性,幼龄林生长速度优于传统造林树种^[2-3];树干通直,木质白色细致,木纤维较长,是优良的造纸原料^[4-5];种子富含油脂,可产生物质能源,也可开发为食用油^[6-7];树脂称“安息香”,含较多香脂酸,是贵重药材,有防腐、消炎、祛痰、

收稿日期:2011-07-25 修回日期:2011-09-25

基金项目:浙江省重大科技专项(2008C12019)、浙江省创新团队建设与人才培养项目(2010F20014)和浙江省省院合作林业科技项目(2010SY05)

作者简介:赵勋(1975—)男,硕士,主要从事园林植物生理生态研究,E-mail:xyzfu@126.com;* 通讯作者:柳新红,研究员,博士,E-mail:lsliuxh@163.com。

行气血之效,并可制造高级香料^[1,8]。因此,白花树是我国南方地区极具开发利用价值的速生多用树种。近年来,为了加快速生原料林建设,浙江省已开展了白花树引种栽培和优树选择等相关工作^[3,9],但其光合作用等生理特性尚未见报道。本文在前期工作基础上,以白花树6个地理种源的1年生实生苗木为测定材料,研究不同种源苗期光合-CO₂响应的差异,揭示其生理特性,进而为白花树的栽培和良种选育提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

育苗试验地位于杭州市西湖区浙江林业科学研究院,东经120°01.49',北纬30°13.128',属亚热带季风性气候,四季分明,温暖湿润。年均温16.2℃,1月均温3.8℃,7月均温28.6℃,极端最高气温42.9℃,极端最低气温-15.0℃,无霜期230~260d。年平均降雨量1435mm,平均相对湿度为76%。土壤类型为山地红壤,砾石含量较高,土壤较贫瘠,pH6.0。

1.2 试验材料

白花树虽然分布广泛,但其生境片段化严重且种群内个体数量少^[10],每个种源很难采集足够数量的母树个体。兼顾考虑种源分布的均匀性和代表性,试验选取了江西大余、贵州从江、湖南宜章、福建永安、广西上思和云南屏边等6个地理种源为研究材料。种源和种源内采种母树生境基本情况如表1所示。试验采用完全随机区组设计,3次重复,每重复50株以上,株行距20cm×20cm。苗期除草、施肥、灌溉及病虫害防治等按正常生产管理进行。参试种源的9月份生长量和累积生长量的平均值如表2所示。

表1 白花树种源与采种母树生境概况

Tab.1 Survey of *S. tonkinensis* provenances and habitat of mother trees for seed collecting

种源 Provenances	纬度 Latitude	经度 Longitude	母树生境概况 Survey of habitat of mother trees		
			海拔/m Altitude	林分类型 Stand type	土壤类型 Soil type
江西大余 JXDY	25°23'42" N	114°21'29" E	370~523	针阔混交林	红壤、黄壤
贵州从江 GZCJ	25°45'11" N	108°54'19" E	450~727	常绿阔叶林	红壤、黄壤
湖南宜章 HNYZ	25°24'01" N	112°56'56" E	570~1412	常绿阔叶林、针阔混交林	红壤、黄棕壤
福建永安 FJYA	25°56'40" N	117°21'58" E	557~593	针阔混交林	红壤
广西上思 GXSS	22°09'13" N	107°59'01" E	282~489	针阔混交林	红壤、砖红壤
云南屏边 YNPB	22°59'01" N	103°41'15" E	1682~1921	针阔混交林	赤红壤、红壤

表2 白花树种源苗木生长情况

Tab.2 Seedling growth of *S. tonkinensis* provenances

种源 Provenances	9月份生长量 Growth in September			累积生长量 Cumulative growth		
	苗高/cm Seedling height	地径/cm Ground diameter	分枝数 Branch number	苗高/cm Seedling height	地径/cm Ground diameter	分枝数 Branch number
江西大余 JXDY	31.19	0.33	5.52	84.55	1.02	16.33
贵州从江 GZCJ	39.18	0.37	5.67	89.61	1.09	17.01
湖南宜章 HNYZ	42.65	0.37	5.93	85.19	0.96	14.46
福建永安 FJYA	37.21	0.44	6.41	93.31	1.14	20.58
广西上思 GXSS	43.50	0.39	6.08	102.44	1.18	18.11
云南屏边 YNPB	50.37	0.41	5.80	119.13	1.35	19.61

1.3 研究方法

于2010年9月的典型晴天,从长势正常植株的冠层中部向阳处选取枝条,再从该枝条中部选出完全伸展、无病虫害和机械损伤的叶片为测定材料,利用Li-6400型便携式光合作用测定系统进行光合-

CO₂ 响应研究。每种源测定 3 株,每株测定 3 枚叶片,每个叶片重复 3 次。每片叶分别挂牌标记,并用铅笔轻划一条线,以保证叶室每次夹在同一位置。测定时保持叶片自然生长角度不变。试验以 Li-6400-01CO₂ 钢瓶为气源,用 Li-6400-02B 红蓝光光源进行测定。CO₂ 浓度梯度设为:390,300,200,100,50,390,390,600,800,1 000,1 200,1 500,1 800,2 000 μmol/mol。光合有效辐射为白花树各种源的光饱和点,温度为(26±1)℃。

1.4 数据处理

采用非直线双曲线模型对白花树种源的 CO₂ 响应曲线参数进行拟合,拟合数据采用 3 次测量的平均值进行。公式如下:

$$P_n = \frac{CE \times Q + A_{max} - \sqrt{(CE \times Q + A_{max})^2 - 4 \times CE \times Q \times A_{max}}}{2K} - R_p \tag{1}$$

(1) 式中 P_n 为净光合速率, A_{max} 为最大净光合速率, K 为 CO₂ 响应曲线曲角, R_p 为暗呼吸速率, CE 为羧化效率, Q 为给定 CO₂ 浓度。设定初始值: K=0.5, A_{max}=30, CE=0.05, R_p=2; 并设定限制值: K≤1, A_{max}≤50, CE≤0.125, R_p 不设定。

对所得数据进行非线性回归分析,计算得出 CO₂ 饱和点,同时利用回归方程得到预期的数值作光合-CO₂ 响应曲线。做胞间 CO₂ 浓度(C_i) 低于 250 μmol/mol、光强为各种源饱和点的 P_n-C_i 曲线,该曲线直线部分的斜率即是羧化效率(CE)^[11]。CO₂ 补偿点的计算以 P_n 对 0~200 μmol/mol 的胞间 CO₂ 浓度 C_i 的点做直线回归,得回归方程:

$$P_n = -R_p + CE \times C_i \tag{2}$$

式中,当 P_n=0 时, C_i 即为光合作用的 CO₂ 补偿点 CCP。回归直线和 Y 轴的交点即为光下叶片向无 CO₂ 的空气中释放 CO₂ 的速率 R_p^[12-13]。

水分利用效率 WUE(μmol/mmol) 是指植物或叶片每蒸腾 1 mol 的水分所同化的 CO₂ mmol 数,即光合速率与蒸腾速率的比值。利用参考文献[14]的公式:

$$WUE = \frac{P_n}{T_r} \tag{3}$$

利用 SAS 8.1 和 SPSS 16.0 软件,对所测数据进行分析,应用 Excel 2003 软件进行数据处理和制图。

2 结果与分析

2.1 光合-CO₂ 响应参数的种源差异

由白花树种源间的光合-CO₂ 响应参数多重比较(表 3)可知,在 CO₂ 浓度达饱和点时,广西上思的最大净光合速率为最高的 18.5 μmol/(m²·s),其次是云南屏边的 17.2 μmol/(m²·s),两个种源与其

表 3 白花树的光合-CO₂ 响应参数的种源差异

Tab. 3 Variance of CO₂ to photosynthesis response of *S. tonkinensis*

种源 Provenances	最大净光合速率/ (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹) A _{max}	羧化效率/ (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹) CE	暗呼吸速率/ (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹) R _p	CO ₂ 补偿点/ (μmol·mol ⁻¹) CCP	CO ₂ 饱和点/ (μmol·mol ⁻¹) CSP	叶片光合能力/ (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹) LPC
江西大余 JXDY	13.7cC	0.058cB	3.203dD	54.9bB	1921.9cB	1.09aA
贵州从江 GZCJ	13.9cC	0.069aA	3.947bB	57.3abAB	2094.8bAB	0.82abA
湖南宜章 HNYZ	10.6dD	0.069aA	4.138aA	62.9aA	1908.4cB	0.50bA
福建永安 FJYA	9.7eD	0.046dC	2.804eE	61.5aAB	2032.6bcB	0.42bA
广西上思 GXSS	18.5aA	0.066abAB	3.748cC	57.3abAB	2224.7aA	0.89abA
云南屏边 YNPB	17.2bB	0.062bcAB	3.724cC	59.9abAB	2244.2aA	0.83abA

字母 abcde 表示在 0.05 水平上差异显著, ABCD 表示在 0.01 水平上差异显著。

The letters ABCD and abcde represent significant correlation at 0.01 and 0.05 levels.

他种源间存在极显著差异。 CE 值最高的是湖南宜章种源和贵州从江种源, 都是 $0.069 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 最低的是福建永安种源 $0.046 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。 R_p 与 CE 在种源间表现出相似的变化趋势, 湖南宜章种源的 R_p 为最高 $4.138 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 福建永安种源为最低 $2.804 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。 CO_2 补偿点在种源间变异较小, 仅江西大余种源与湖南宜章种源之间存在极显著性差异, 其余种源间差异均不显著; CO_2 饱和点以云南屏边和广西上思为最高, 两个种源与江西大余、贵州从江、湖南宜章和福建永安等 4 个种源间差异显著。叶片光合能力 LPC 是指在饱和光强、正常 CO_2 和 O_2 浓度、最适温度和相对高湿度条件下的光合速率。各种源的叶片光合能力 LPC 以江西大余种源最高, 其次是广西上思和云南屏边种源, 但 3 者间无显著性差异。

2.2 净光合速率对 CO_2 浓度的响应

CO_2 是光合作用的底物, 其浓度的高低直接影响植物的光合作用。从图 1 可看出, 广西上思和云南屏边 2 个种源净光合速率对外界 CO_2 浓度的响应明显高于江西大余和贵州从江种源, 而湖南宜章和福建永安的响应效果最低。白花树 6 个种源的净光合速率在 $1800 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 以下时均随 CO_2 浓度的升高而升高, 两者近线性相关; 当 CO_2 浓度达到 $1800 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 时, 净光合速率仍继续增加, 只是增加幅度减小; 当 CO_2 浓度高于 $2000 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 时, 江西大余、贵州从江、湖南宜章和福建永安等 4 个种源的净光合速率都不在升高, 而广西上思和云南屏边种源在外界 CO_2 浓度

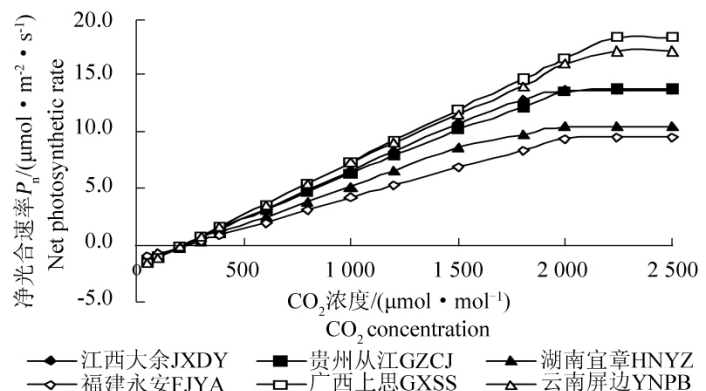


图 1 净光合速率 (P_n) 对 CO_2 浓度的响应

Fig. 1 Response of net photosynthetic rate to CO_2 concentration

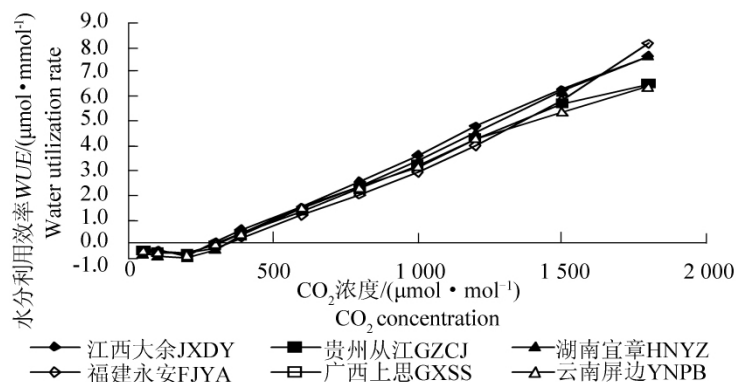


图 2 水分利用效率 (WUE) 对 CO_2 浓度的响应

Fig. 2 Response of water utilization ratio to CO_2 concentration

达到 $2200 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 左右时净光合速率表现为最高。因此在一定的范围内增加 CO_2 浓度可显著提高白花树的光合速率。从响应曲线图上还可以得出, 各种源的净光合速率达到最高值后, 均表现为略有下降, 原因可能是 CO_2 浓度过高时引起细胞中 pH 值的改变, 叶片保卫细胞膨压下降, 气孔开度受到影响, 进而抑制了叶片的净光合速率。

2.3 水分利用效率对 CO_2 浓度的响应

已有研究表明, 大气 CO_2 浓度的升高能提高植物水分利用效率^[15]。白花树的相关结果也符合上述结论。由图 2 可知, 白花树不同种源的水分利用效率 WUE 对 CO_2 浓度的响应表现出相同的趋势。在高于环境 CO_2 浓度 ($390 \mu\text{mol}/\text{mol}$) 以后, 随外界 CO_2 浓度升高所有参试种源均呈现线性上升, 且各种源的水分利用效率相近。

2.4 气孔导度对 CO_2 浓度的响应

气孔导度 G_s 是反映气孔开闭程度的一个生理指标, 一般低浓度 CO_2 促进气孔张开, 高浓度 CO_2 能使气孔关闭。从图 3 中可以看出, 在低于环境 CO_2 浓度 ($390 \mu\text{mol}/\text{mol}$) 时, 白花树种源的气孔导度都随 CO_2 浓度的增加呈下降趋势, 且云南屏边种源下降速度最快。随外界 CO_2 浓度的继续升高, 各种源气孔导度 G_s 均随之增加, 其中云南屏边种源增加最为迅速。当外界 CO_2 浓度达到 $600 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 时, 江西大余、湖南宜章和福建永安种源的气孔导度达到最高, 而贵州从江、广西上思和云南屏边种源在外界 CO_2 浓度升高至环境 CO_2 浓度的倍值 (约 $800 \mu\text{mol}/\text{mol}$) 时气孔导度才达到最高值; 此后随外界 CO_2 浓

度的升高,各种源气孔导度均表现为下降趋势。这是因为 CO₂ 量增高引起细胞内酸化,导致 K⁺ 泄漏而使气孔关闭;另外的一个原因是 CO₂ 浓度升高到一定程度时,在高 CO₂ 浓度下因保卫细胞失水而使气孔关闭,气孔导度降低。

2.5 蒸腾速率对 CO₂ 浓度的响应

图4为白花树不同种源的蒸腾速率 T_r 对 CO₂ 浓度的响应曲线。由图可知,在低于环境 CO₂ 浓度 390 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 时,各种源蒸腾速率 T_r 均表现出下降趋势。随着外界 CO₂ 浓度的升高,各种源的蒸腾速率 T_r 都表现出上升的趋势,云南屏边种源蒸腾速率 T_r 上升速度明显高于其他种源。当外界 CO₂ 浓度倍增(约 800 $\mu\text{mol}/\text{mol}$) 时各种源蒸腾速率达到最大值。此后随外界 CO₂ 浓度增加,各种源的蒸腾速率均缓慢下降。

3 结论与讨论

CO₂ 饱和点和补偿点是判断植物是否具有高光合效率遗传特性的一个重要指标。白花树6个种源的 CO₂ 补偿点为 54.9 ~ 62.9 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,属于一般 C₃ 植物的范畴(50 ~ 150 $\mu\text{mol}/\text{mol}$) [16-17],说明白花树具有较强的光合作用潜力;CO₂ 饱和点为 1908.4 ~ 2244.2 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,远高于大气 CO₂ 浓度,说明 CO₂ 浓度较高的生境有助于白花树的生长。

从白花树种源的光合生理因子对 CO₂ 浓度的响应曲线来看,在一定范围内增加 CO₂ 浓度,可以使白花树种源 P_n 和 WUE 得以提高。就 P_n 而言,广西上思和云南屏边种源增大的速度高于其他种源;而对 WUE 来说,各种源表现出没有明显的差异。参考相关研究 [18],在白花树水分亏缺的情况下,可以提高环境 CO₂ 浓度来提高其水分利用率,进而在一定程度上减缓干旱的不利影响。白花树种源的 G_s 和 T_r 对 CO₂ 浓度的响应趋势基本相同,即在低于环境 CO₂ 浓度(390 $\mu\text{mol}/\text{mol}$) 时, G_s 和 T_r 都随 CO₂ 浓度的增加呈下降趋势,之后又随之增加,而当达到约 800 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 均表现为下降的趋势。

在一定范围内,增加 CO₂ 浓度可以大大提高光合速率,改变植物的形态,促进其生长和发育,提高生物量。目前,增施 CO₂ 肥对改善花卉观赏品质的研究也逐渐受人关注。对红掌、凤梨进行 CO₂ 施肥,不仅增加了植株的株高、叶面积和生物量,而且使植物的开花时间提前,延长了花期,观赏品质得到改善 [15]。结合白花树种源对 CO₂ 浓度的响应曲线,如对白花树增施 CO₂ 肥,应可以提高其光合能力和水分利用效率,发挥其速生特性并提高耐干旱的能力。

参考文献:

[1]中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志第六十卷(第2分册)[M].北京:科学出版社,2004:84-86.
 [2]柳新红,李因刚,何小勇.白花树研究进展[J].浙江林业科技,2008,28(5):61-65.
 [3]李因刚,周小平,柳新红,等.越南安息香人工林生长与优树选择的初步研究[J].浙江林业科技,2010,30(3):24-28.
 [4]骆昱春,杨桦,曾志光,等.东京野茉莉木材性质分析与利用[J].江西农业大学学报,2007,29(1):77-80.
 [5]胡淑萍,陈永伶.越南的森林、人工造林和树木引种驯化[J].江西林业科技,2001,28(1):40-41.

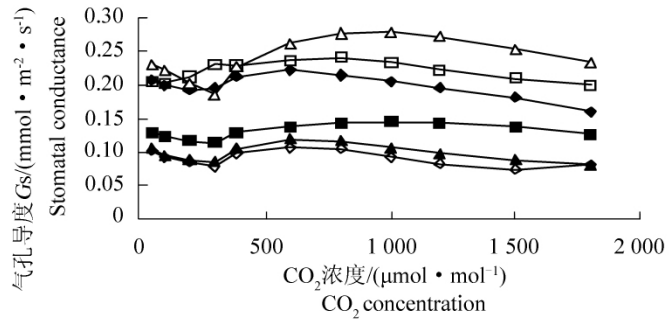


图3 气孔导度 (G_s) 对 CO₂ 浓度的响应

Fig. 3 Response of stomatal conductance (G_s) to CO₂ concentration

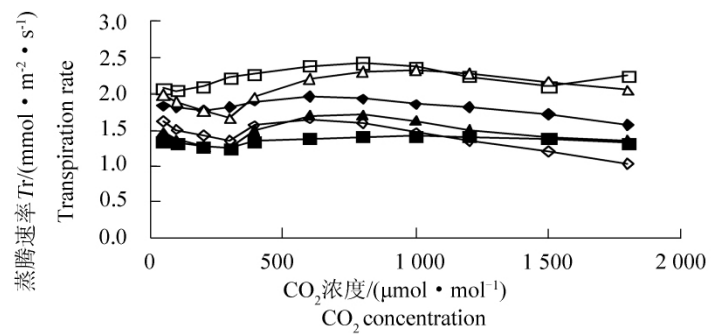


图4 蒸腾速率 (T_r) 对 CO₂ 浓度的响应

Fig. 4 Response of transpiration rate to CO₂ concentration

- [6]刘光斌,黄长干,刘苑秋,等. 东京野茉莉油的提取及其制备生物柴油的初步研究[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(4): 685-689.
- [7]顾雁蕾,叶兴乾,柳新红. 野茉莉种仁与种子油的营养成分及理化特性研究[J]. 食品工业科技, 2010(12): 328-329.
- [8]国家药典委员会. 中华人民共和国药典(I 部) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 138-139.
- [9]谢建秋,柳新红,王军峰,等. 东京野茉莉引种试验初报[J]. 浙江林业科技, 2006, 26(4): 33-35.
- [10]李因刚,柳新红,赵勋,等. 我国越南安息香的地理分布及其气候特征[J]. 西南林业大学学报, 2011, 31(1): 5-10.
- [11]许大全,徐宝基,沈允钢. C₃ 植物光合效率的日变化[J]. 植物生理学报, 1990, 16(1): 1-5.
- [12]Olsson T, Leverenz J W. Non - uniform stomatal closure and the apparent convexity of the photosynthetic photon flux density response curve[J]. Plant Cell Environ, 1994, 17(6): 701-710.
- [13]高峻,孟平,吴斌,等. 杏-丹参林药复合系统中丹参光合和蒸腾特性的研究[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(2): 64-67.
- [14]Penuelas J, Filella I, Llusia J, et al. Comparative field study of spring and summer leaf gas exchange and photobiology of the mediterranean trees *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia* [J]. Journal of Experiment Botany, 1998, 49(319): 229-238.
- [15]张其德. 大气 CO₂ 浓度升高对光合作用的影响[J]. 植物学通报, 1983(3): 30-33.
- [16]蒋高明,林光辉. 几种荒漠植物与热带雨林植物在不同 CO₂ 浓度下光合作用对光照强度的反应[J]. 植物学报, 1996, 38(12): 972-981.
- [17]Ishii R. Effect of light on the CO₂ evolution of C₃ and C₄ plant in relation to the kook effect[J]. Japan Jour Crop Sci, 1979, 48(1): 52-57.
- [18]李国栋,张汝民,高岩. 几种园林树种光合特性的研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2008, 29(2): 185-189.

(上接第 1127 页)

4 结 论

综上所述,穗条品种是影响植株生长的主要因素,针对不同品种合理施肥,有助于降低生产成本和环境污染。这与赵中华^[10]认为不是施肥量越大越好,施肥过量或施肥不足对油茶光合性能和产量影响均不利,不能达到改善树体的营养状况和增产增收的目的的研究结果相一致。长林 23 号,长林 27 号在过多施肥量后产生了抑制作用;在长林 3 号,长林 4 号,长林 40 号中,增加施肥种类和用量后,能显著提高上述 3 品种的根梢部分的生物量;而在长林 53 号,施肥量变化影响较小。而在当肥力达到一定量的情况,阻滞或促进植株生长,对于根梢生长的同步性起到了一定作用,因此在生产中开展,促进苗木的生长。因此在针对不同品种调节施肥量,从而控制地上和地下部分的生长。

根系的生长、发育和分布除了具有必然的品种的遗传特性外,施肥调控的影响也不容忽视。不同的品种对施肥量的响应差异性表现说明品种对环境的变化响应存在差异,高适应能力的品种有利于造林的存活率和产量的稳定。因此,在进行造林品种选择中,针对不同的土壤肥力、地形选择对环境适应能力强的品种类型。

参考文献:

- [1]庄瑞林. 中国油茶[M]. 2 版: 北京: 中国林业出版社, 2007: 1-5.
- [2]王性炎. 木本油脂的化学组成与人体健康[J]. 经济林研究, 1983(1): 89-95.
- [3]李克瑞,漆龙霖,赵思东,等. 山茶属 27 种植物油脂理化性质及脂肪酸组成的研究[J]. 中南林学院学报, 1984, 4(2): 101-109.
- [4]刘幼丽. 我国油茶文献研究分析[J]. 农业图书情报学刊, 2007, 19(4): 166-169.
- [5]宋伟峰,王希群. 林木根系研究综述[J]. 西南林学院学报, 2007, 27(5): 8-13.
- [6]Schiefelbein J W, Ben fey P N. The development of plant roots: new approaches to underground problems [J]. The Plant Cell, 1991, 3(11): 1147-1154.
- [7]周本智,张守攻,傅懋毅. 植物根系研究新技术 Minirhizotron 的起源、发展和应用[J]. 生态学杂志, 2007, 26(2): 253-260.
- [8]康乐,杨水平,姚小华,等. 不同品种油茶嫁接苗根系生长动态研究[J]. 林业科学研究, 2010, 23(3): 467-471.
- [9]赵中华,郭晓敏,李发凯,等. 不同施肥处理对油茶光合生理特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(4): 576-581.