

王 瑞, 吴沿友, 邢德科, 等. 2 种药用植物在喀斯特生境下的光合特征及适生性[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(3): 216-220.
doi: 10. 15889/j. issn. 1002-1302. 2016. 03. 060

2 种药用植物在喀斯特生境下的光合特征及适生性

王 瑞^{1,2}, 吴沿友^{1,3}, 邢德科³, 杭红涛¹

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州贵阳 550002; 2. 贵阳学院食品与制药工程学院, 贵州贵阳 550003; 3. 江苏大学农业工程研究院现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 江苏镇江 212013)

摘要: 为筛选喀斯特生态修复植物, 探讨植物配置方案, 利用 Li-6400 便携式光合测定系统分别测定了莽草、长刺楸木 2 种药用植物叶片的光合作用日变化特征, 并结合植物叶片各生理生态因子对净光合速率(P_n)影响的途径分析、叶绿素含量、碳酸酐酶活力和稳定碳 $\delta^{13}C$ 同位素组成对比了 2 种植物在喀斯特生境下的适生能力。结果表明: 长刺楸木的大多数光合作用指标(P_n 、LUE、Cond、 C_i 、 T_j)均高于莽草, 且具有较高的抗胁迫能力和碳酸酐酶活力; 2 种药用植物在相同喀斯特生境下表现出不同的适应机制, 长刺楸木的喀斯特适生性高于莽草, 但莽草的抗干旱能力强于长刺楸木。

关键词: 喀斯特; 莽草; 长刺楸木; 适生性; 光合生理特征

中图分类号: S567.901 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)03-0216-04

生态修复是治理喀斯特石漠化地区的有效途径^[1-2], 而合理的植物种群、群落构建是该领域的共性关键技术^[3], 因此喀斯特地区适生植物的选择就显得至关重要。喀斯特地貌因存在石漠化、干旱溶岩、土地瘠薄、高 pH 值、高钙、高重碳酸盐及高钙镁浓度等限制因素而被认定为一种特殊的脆弱生境, 严重影响植物的生长发育^[4]。但有研究表明, 部分植物可借助体内的碳酸酐酶调节控制每一个与气孔开闭有关的保卫细胞, 且可在碳酸酐酶作用下利用无机碳源进行光合作用^[5]。近年来研究表明, 喀斯特适生植物可交替使用大气中的 CO_2 和土壤中的重碳酸盐, 经碳酸酐酶的催化作用进行光合作用而正常生长, 且碳酸酐酶活力可作为植物喀斯特适生性的有力判据^[6-9]。高适生性喀斯特先锋植物的合理配置不仅可有效发挥喀斯特生态修复效用, 还在低成本固碳增汇方面具有相当优势^[10]。在选择、配置喀斯特生态修复作物的同时, 若能兼顾经济价值和碳汇效应, 可有效激发种植者的积极性和环保效益, 对修复和改善喀斯特生态系统具有促进意义。

长刺楸木(*Aralia spinifolia* Merr)、莽草(*Illicium lanceolatum* A. C. Smith) 在贵州喀斯特山区广泛分布, 且资源丰富^[11-12], 具有一定药用价值。长刺楸木根、根皮主要含皂苷类化合物, 可供药用, 具有驳骨、拔毒之功效, 具有治头昏、头痛、风湿痹痛、跌打损伤、蛇伤, 以及强壮、免疫促进、抗肿瘤、抗溃疡和保肝等作用^[13]。莽草因含有 *seco-prezizaane* 类型的倍半萜类化合物而具有杀虫、抗氧化、抗菌、镇痛、抗肿瘤等多种药理活性, 有研究者正尝试从莽草中寻找高效、安全、依赖性小的抗炎、镇痛新药先导化合物^[12]。

笔者所在课题组在喀斯特生态修复植物筛选、配置的野外试验中发现, 长刺楸木、莽草在贵州喀斯特山区长势良好, 资源丰富。本研究考察野生长刺楸木、莽草在喀斯特生境下的光合作用特征参数, 并通过稳定性碳同位素技术、碳酸酐酶活力对这 2 种药用植物的喀斯特适生性进行比较, 以期对喀斯特生态修复的适生植物筛选和配置提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况、材料与处理

研究区域为贵州省六盘水市玉舍国家森林公园(喀斯特原始森林), 地理位置为 $104^{\circ}47'813'' \sim 104^{\circ}50'385'' E$ 、 $26^{\circ}27'508'' \sim 26^{\circ}27'881'' N$, 总面积为 $3\,342.27\text{ hm}^2$, 海拔 $1\,700 \sim 2\,503\text{ m}$, 属于典型的亚热带季风气候, 立体气候较为明显。土壤类型主要为由玄武岩、石灰岩等发育的山地黄壤土, 相关指标为铵态氮含量(11.01 ± 2.2) mg/L , 有效钾含量(29.67 ± 5.64) mg/L , 速效钾含量(31.53 ± 5.64) mg/L , pH 值 5.24 ± 0.19 , 含盐量(0.03 ± 0.26)%, 有机质含量(6.43 ± 2.41)%。年平均温度为 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 最低温度为 1 月份的 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最高温度为 7 月份的 $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, 年平均降水量为 $1\,380\text{ mm}$; 雨热同季, 湿度大, 降水主要集中在 4—10 月; 植被丰富, 具有近 700 种药用种子植物, 是目前六盘水市保护较好的原始喀斯特天然森林植被^[14-15]。本试验测定该区域内具有代表性的植株叶片光合作用日变化特征参数; 采集相应叶片封存于液氮中, 带回实验室测定相应植物叶片的碳酸酐酶活力、叶绿素含量和稳定碳同位素 $\delta^{13}C$ 值。

1.2 光合作用日变化特征参数测定

光合作用日变化特征参数于 2012 年 5 月 13 日(晴朗)测定, 分别从试验植株的第 4 张叶(从展开心叶向下数)开始, 选取健康、完全展开叶进行测定(测定时用缓冲瓶使 CO_2 浓度相对稳定, 每张叶测 3 次, 取平均值)。每隔 2 h 用 Li-6400 光合仪连续测定光合作用日变化特征参数, 具体包括净光合速率 [P_n , $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$], 蒸腾速率 [T_j , $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$], 气

收稿日期: 2015-01-20

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 31070365); 贵州省社会发展攻关项目(编号: 黔科合 SY[2010]3043)。

作者简介: 王 瑞(1979—), 男, 天津人, 博士, 副教授, 研究方向为植物生理生化。E-mail: wangrui060729@126.com。

通信作者: 吴沿友, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向为生物地球化学。E-mail: wuyanyou@mails.gyig.ac.cn。

孔导度 [Cond, $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、胞间 CO_2 浓度 (C_i , $\mu\text{mol}/\text{mol}$)、大气 CO_2 浓度 (C_a , $\mu\text{mol}/\text{mol}$)、光合有效辐射 [Par, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、大气温度 (T_a , $^\circ\text{C}$)、大气相对湿度 (RH, %) 等特征参数,并计算出叶片光能利用率 (LUE, 即 P_n/Par , %)、瞬时水分利用效率 (WUE, 即 P_n/T_r , 以 CO_2 计, $\mu\text{mol}/\text{mmol}$)。

1.3 叶绿素荧光参数测定

当日光合有效辐射达到并保持 $0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 1 h 后,用美国 Li-6400-40 便携式荧光仪及配套的 Li-6400-40 荧光叶室进行叶绿素荧光测定。按 van Kooten 等方法^[16]测定相应荧光参数指标:初始荧光 (F_0)、最大荧光 (F_m) ,并计算出 PS II 最大光化学效率 (F_v/F_m) = $(F_m - F_0)/F_m$ 及 PS II 潜在活性 ($F_m - F_0$) / F_0 。

1.4 碳酸酐酶活力测定

碳酸酐酶活力采用钨微电极法进行测定^[17-18],选择长势一致用于光合作用日变化特征参数测定的叶片,立即封存于液氮中带回实验室。取 $0.3 \sim 1.0 \text{ g}$ 植物叶片,放入预冷的研钵中,迅速加入液氮,再加入 3 mL 巴比妥缓冲液 ($10 \text{ mmol}/\text{L}$, 含巯基乙醇 $50 \text{ mmol}/\text{L}$, pH 值 8.3) 进行研磨,取研磨液倒入 5 mL 离心管中,将离心管冰浴 20 min 后,在 $13000 \text{ r}/\text{min}$ 下离心 5 min 取上清液,冷藏待测。样品检测过程中保持反应系统温度在 $0 \sim 2 \text{ }^\circ\text{C}$,取待测上清液 $50 \sim 1000 \mu\text{L}$,加入 15 mL 巴比妥缓冲液中,然后迅速加入 10 mL 预冷的 ($0 \sim 2 \text{ }^\circ\text{C}$) 的饱和 CO_2 蒸馏水,用 pH 电极监测反应体系 pH 值变化,记下 pH 值下降 1 个单位 (如 pH 值从 $8.2 \sim 7.2$) 所需的时间,记为 t ; 同时记录在酶失活条件下 pH 值下降 1 个单位所需的时间,记为 t_0 ; 酶的活力用 WA-unit 表示 ($\text{WA} = t/t_0 - 1$)。

1.5 叶绿素含量的测定

植物叶片 (液氮保存) 叶绿素含量采用分光光度法测定^[19]。

1.6 稳定碳同位素比值 ($\delta^{13}\text{C}$) 的测定

将采回的植物叶片经 $108 \text{ }^\circ\text{C}$ 杀青,再于 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 下烘 48 h ,粉碎均匀并过筛,称取 $3 \sim 5 \text{ mg}$ 样品装入石英管中,再装入经高温处理的氧化铜丝、铂丝 (催化剂),将石英管在高温下煅烧 ($850 \text{ }^\circ\text{C}$ 保温 $3 \sim 4 \text{ h}$) 确保样品中的碳全部转化成气态的 CO_2 。称取一定量转化成质谱仪分析的二氧化碳气体,在 MAT-252 质谱仪上进行测定 (中国科学院地球化学研究所),测量精度范围为 $\pm 0.1\%$,分析结果以 PDB (Pee Dee Belemnite) 表示,即 $\delta^{13}\text{C} \text{ CPDB} = [(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{样本}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{标准}}] / (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{标准}} \times 1000\text{‰}$ 。

1.7 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 13.0 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 2种植物的光合参数日变化

2.1.1 净光合速率和光能利用率日变化特征 由图 1 可见,莽草、长刺楸木叶片的净光合速率变化趋势大致相似,呈单峰趋势。2种植物叶片的 P_n 值都是从 08:00 至 10:00 呈下降趋势,而 10:00 后开始上升,14:00 达到峰值 [莽草: $7.48 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、长刺楸木: $14.71 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]; 2种

植物的 P_n 值均在 18:00 达到最低值,分别为 -1.65 、 $0.03 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。莽草、长刺楸木的日均 P_n 值表现为长刺楸木 [$(9.21 \pm 1.21) \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] > 莽草 [$(4.31 \pm 0.69) \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$],可见莽草的光合生产力高于长刺楸木。在光能利用效率方面 2种植物均表现出早晚高、中午低的变化趋势 2种药用植物光能利用效率峰值均在 08:00 达到最高值,10:00 达到最低值;由 2种植物叶片的日均 LUE 值 [长刺楸木 (6.15%)、莽草 (3.19%)] 可以推断出长刺楸木对于光照的利用能力高于莽草。

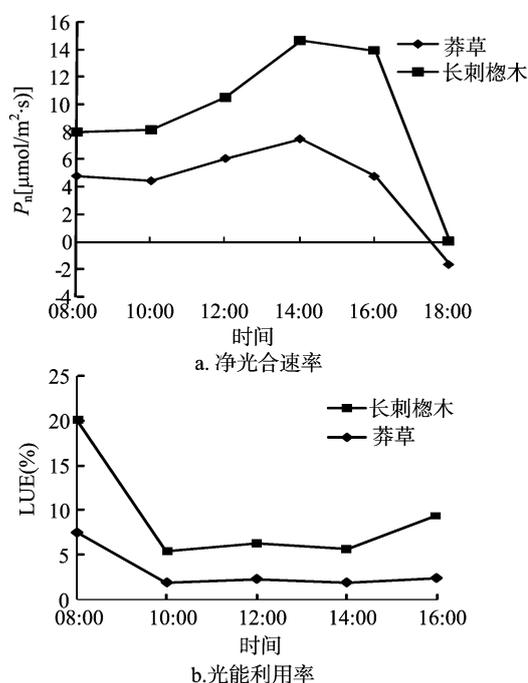


图1 2种植物叶片净光合速率和光能利用率的日变化

2.1.2 气孔导度和胞间 CO_2 浓度的日变化特征 叶面上的气孔在控制 CO_2 吸收和水分损失的平衡中起着关键作用^[20]。由图 2 可见 08:00 时 2种植物叶片 Cond 值最高 [长刺楸木: $0.28 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、莽草: $0.07 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]; 为适应光照增强和温度升高 2种植物的气孔导度发生不同的变化: 莽草呈现以 4 h 为周期的波动,且受外界影响较小,而长刺楸木没有表现出明显规律;另外,长刺楸木变化曲线的波动明显强于莽草,说明长刺楸木的气孔导度更易受环境因子影响。2种植物叶片 C_i 值均表现出早晚高、中午低的变化趋势。08:00—14:00 C_i 值呈现出与净光合速率相反的变化趋势,说明该时间段内随着 2种植物叶片光合作用的增强, CO_2 消耗量逐渐增大, C_i 降低,14:00 达到峰底 (长刺楸木: $220.19 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 、莽草: $126.91 \mu\text{mol}/\text{mol}$),而后随着 P_n 的下降而回升。

2.1.3 蒸腾速率和瞬时水分利用效率的日变化特征 由图 3 可见,莽草与长刺楸木的 T_r 日变化大致呈先上升后下降的趋势 (与 P_n 变化趋势一致),测定时间内 2种植物 T_r 峰值均出现在 16:00 [莽草: $1.19 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、长刺楸木: $4.27 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]; 从图 3 还可看出,莽草的 T_r 日变化较为平缓。2种植物的 WUE 平均值大小为莽草 [$(7.80 \pm 2.28) \mu\text{mol}/\text{mmol}$] > 长刺楸木 [$(5.21 \pm 0.86) \mu\text{mol}/\text{mmol}$],

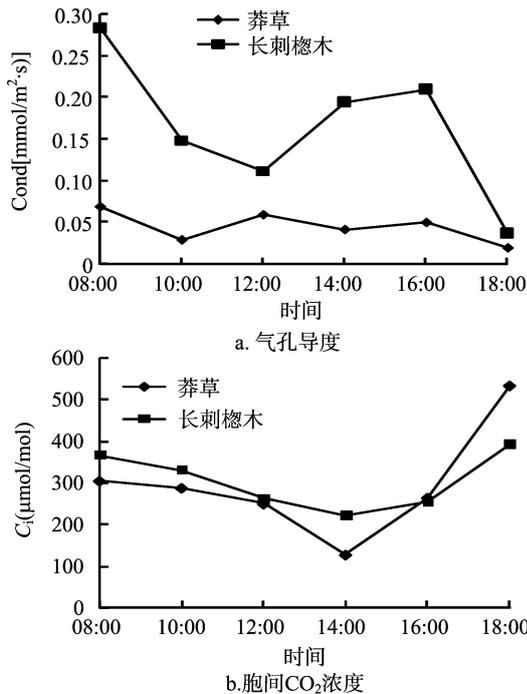


图2 2种植物气孔导度、胞间CO₂浓度的日变化

说明莽草的瞬时水分利用效率高于长刺楸木。

2.1.4 2种植物叶片 P_n 与各项生理生态因子的关系 由表1、表2 莽草、长刺楸木 2种植物叶片的净光合速率与生理生态因子的通径分析和相关分析可以看出,在生态因子中,莽草、长刺楸木的 C_a 、 T_a 与 P_n 均无显著相关,其中 C_a 与 P_n 呈负相关;在2种植物的各生理因子中,莽草叶片的 C_i 与 P_n 呈极显著负相关。通径分析结果(总效应绝对值)表明,各生态

因子对 P_n 直接作用大小为 $Par > RH > C_a > T_a$ 。 Par 对莽草叶片 P_n 的最大直接效应除源于自身作用外,主要通过 C_i 的间接作用影响 P_n ,且对 P_n 呈最大总效应。在生理因子中,对莽草叶片 P_n 影响大小为 $C_i > Cond > T_r$ 。对于长刺楸木而言,各生态因子对其 P_n 影响大小为 $Par > RH > C_a > T_a$,而各生理因子对其 P_n 影响排序为 $T_r > Cond > C_i$ 。

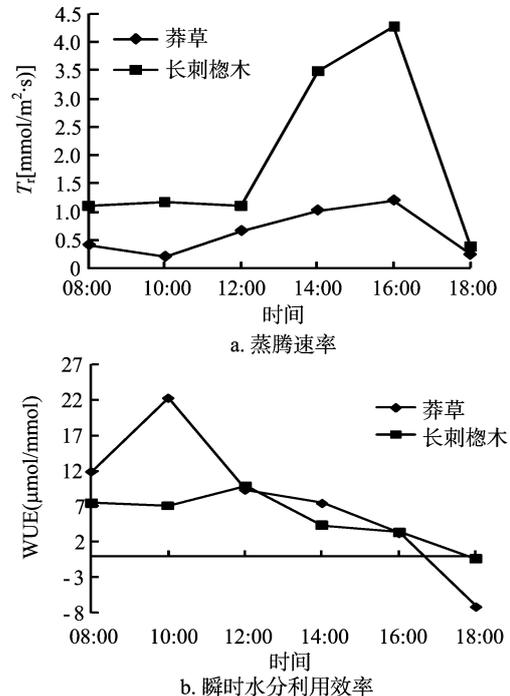


图3 2种植物蒸腾速率和瞬时水分利用效率的日变化

表1 2种植物叶片净光合速率与生理生态因子相关系数

植物	生态因子				生理因子		
	Par	RH	C_a	T_a	T_r	Cond	C_i
莽草	0.648 5**	0.567 7*	-0.163 2	0.154 1	0.482 6*	0.583 3*	-0.957 5**
长刺楸木	0.704 6**	0.582 3**	-0.255 3	0.197 5	0.723 5**	0.508 1**	-0.271 8

注: 标有“*”表示相关性达显著水平($P < 0.05$), “**”表示相关性达极显著水平($P < 0.01$)。

表2 2种植物叶片净光合速率与生理生态因子的通径分析

植物	因子	直接效应	间接效应						总效应	R^2	
			T_r	Cond	C_i	Par	C_a	T_a			RH
莽草	T_r	0.485 0								1.902 5	-0.303
	Cond	0.594 3	0.169 0							1.089 5	0.283
	C_i	-0.968 0	-0.311 8	-0.288 0						-2.486 3	0.863
	Par	0.657 9	0.260 3	-0.069 1	0.725 7					2.165 3	0.346
	C_a	-0.164 9	-0.232 9	0.235 6	-0.280 4	-0.533 5				-1.280 2	-0.032
	T_a	0.156 1	0.385 9	0.205 4	0.274 8	0.076 5	0.034 1			0.833 3	-0.002
	RH	0.586 3	0.026 1	-0.055 6	0.550 2	0.492 2	0.076 4	-0.079 7		1.595 9	-0.030
长刺楸木	T_r	0.704 0								1.630 9	0.420
	Cond	0.609 8	0.423 0							1.103 7	-0.736
	C_i	-0.287 8	-0.087 3	-0.505 9						-0.445 8	-0.118
	Par	0.593 4	0.335 6	-0.030 9	-0.076 4					1.463 7	0.308
	C_a	-0.210 7	-0.321 0	0.221 8	0.178 1	-0.486 5				-0.939 5	-0.206
	T_a	0.138 7	0.482 9	0.325 2	0.108 1	0.041 6	0.048 9			0.855 2	-0.301
	RH	0.581 3	0.061 3	-0.141 9	-0.098 7	0.469 1	0.104 7	-0.069 3		0.906 5	0.296

通过分析可见,对莽草 P_n 生态因子的决策系数(R^2)大小为 $Par > T_a > RH > C_a$,而对长刺楸木的大小也为 $Par > RH > C_a > T_a$ 。不同的是对莽草 P_n 日变化规律的决定生态因子为 Par ,而长刺楸木为 Par, RH ,其余为限制因子。在生理因子方面,对莽草 P_n 生态因子的决策系数(R^2)大小为 $C_i > Cond > T_r$,而对长刺楸木大小为 $T_r > C_i > Cond$ 。由表1可见,影响莽草 P_n 日变化规律的决定生理因子为 $C_i, Cond$,限制因子为 T_r ;而对长刺楸木的决定生理因子为 T_r ,限制因子为 $Cond, C_i$ 。

2.2 植物叶片叶绿素含量与叶绿素荧光参数

研究表明,叶绿素含量的高低能在一定程度上反映叶片的光合能力,直接影响植物的生长;而叶绿素荧光可与光合特性、水分代谢特性互补,用于揭示植物对环境生态适应性机

制^[21]。本研究根据相关文献报道方法^[19],测得莽草、长刺楸木2种植物叶片的叶绿素含量。由表3可见,2种植物叶片叶绿素含量大小为长刺楸木 > 莽草,结合上述 P_n 、LUE 检测结果可说明,长刺楸木对光能利用的能力高于莽草。

叶绿素荧光技术作为一种无损光合作用研究的探针,几乎可以反映植物叶片所有的光合作用过程。近年来,该技术在光合作用、植物胁迫生理学、水生生物学、海洋学和遥感等方面得到了广泛的应用^[22]。由表3可见,长刺楸木的PS II最大光化学效率(F_v/F_m)大于莽草,结合PS II潜在活性(F_v/F_o)说明,长刺楸木相对于莽草表现出较高的潜在光合能力,由此可推测,在喀斯特生境下长刺楸木相对莽草具有较高的抗胁迫能力。

表3 2种植物叶片叶绿素含量和叶绿素荧光参数

植物	叶绿素含量 (mg/g)	初始荧光 F_o	最大荧光 F_m	PS II最大光化学效率 F_v/F_m	PS II潜在活性 F_v/F_o
莽草	1.29 ± 0.003	919.01 ± 4.43	4 001.01 ± 61.06	0.77 ± 0.01	3.35 ± 0.21
长刺楸木	2.27 ± 0.001	691.57 ± 3.79	3 360.48 ± 33.70	0.89 ± 0.01	3.93 ± 0.15

2.3 植物叶片的碳酸酐酶活力与 $\delta^{13}C$ 值

研究证明,具有高碳酸酐酶活力的喀斯特适生植物在遭受胁迫时,可利用碳酸酐酶的催化作用将细胞内的碳酸氢根离子转化成 CO_2, H_2O ,以弥补水分、 CO_2 的不足;可交替使用大气中的 CO_2 和土壤中的无机碳进行光合作用而起到固碳增汇的目的^[6,10];此外,植物根系分泌的高浓度碳酸酐酶可催化土壤中 CO_2, H_2O 转换成 HCO_3^-, H^+ ,以加速石灰岩溶解、提高成土速率^[23]。根据文献^[17]报道方法测得2种植物叶片的碳酸酐酶活力,两者大小为长刺楸木 [(11 161.51 ± 1 159.2) WAU/g] > 莽草 [(876.58 ± 62.87) WAU/g]。由此可推断,在喀斯特生境下,长刺楸木的固碳增汇能力高于莽草,且具有更好的喀斯特生态修复效用。

基于稳定碳同位素的强烈分馏特征,稳定碳同位素技术被作为一种衡量植物长期水分利用效率的有效工具,即植物的 $\delta^{13}C$ 值与其长期水分利用效率呈正相关^[24]。研究表明,2种植物叶片的 $\delta^{13}C$ 大小为莽草的 (-26.931 ± 0.015) ‰ > 长刺楸木的 (-28.82 ± 0.004) ‰,即莽草的长期水分利用效率高,与上述 WUE 结果一致。通过对上述各指标的综合分析,可以将长刺楸木的低水分利用效率归属于该植物叶片的高 $P_n, T_r, Cond$ 。因此,莽草较之长刺楸木更能适应干旱环境。

3 讨论与结论

本研究通过光合作用日变化特征参数、碳酸酐酶活力和稳定性碳同位素组成的分析对莽草、长刺楸木的喀斯特适生性进行比较和讨论。在光合日变化特性方面,长刺楸木叶片的 P_n 、LUE、叶绿素含量均高于莽草,说明长刺楸木的作物生产力较高。经通径分析和相关分析可以看出,对莽草 P_n 日变化规律的决定生态因子为 Par ,而长刺楸木为 Par, RH ;莽草 P_n 日变化规律的决定生理因子为 $C_i, Cond$,而长刺楸木决定生理因子为 T_r 。这说明不同植物即使在相同的环境条件下,也会表现出不同的适应机制。通过对比发现,长刺楸木叶绿素含量、叶绿素荧光和PS II最大光化学效率均高于莽草,结合碳酸酐酶活力比较,长刺楸木 [(11 161.51 ± 1 159.2) WAU/g] > 莽草 [(876.58 ± 62.87) WAU/g]可以推测,长刺

楸木的喀斯特适生性高于莽草,且固碳增汇能力高于莽草,具有更好的喀斯特生态修复效用。但是莽草具有高于长刺楸木的 WUE,结合稳定碳同位素分析结果可知,莽草较之长刺楸木更能适应干旱环境。

参考文献:

- [1] Wei Y, Yu L F, Zhang J C, et al. Relationship between vegetation restoration and soil microbial characteristics in degraded karst regions: a case study [J]. *Pedosphere* 2011, 21(1): 132 - 138.
- [2] Zhu H H, He X Y, Wang K L, et al. Interactions of vegetation succession, soil bio-chemical properties and microbial communities in a Karst ecosystem [J]. *European Journal of Soil Biology* 2012, 51(5): 1 - 7.
- [3] 郭柯,刘长成,董鸣.我国西南喀斯特植物生态适应性与石漠化治理[J].*植物生态学报* 2011, 35(10): 991 - 999.
- [4] Yan J, Li J, Ye Q, et al. Concentrations and exports of solutes from surface runoff in Houzhai Karst Basin, southwest China [J]. *Chemical Geology* 2012, 304/305(3): 1 - 9.
- [5] Hu H H, Boisson-Dernier A, Jarsellsson-Nordstrom M, et al. Carbonic anhydrases are upstream regulators of CO_2 -controlled stomatal movements in guard cells [J]. *Nature Cell Biology* 2010, 12(1): 87 - U234.
- [6] 吴沿友,邢德科,刘莹.植物利用碳酸氢根离子的特征分析[J].*地球与环境* 2011, 39(2): 273 - 277.
- [7] 吴沿友,刘从强,李萍萍,周文美,王宝利.利用碳酸酐酶活力鉴定喀斯特适生植物的方法:中国, CN101067148 [P]. 2011 - 05 - 20.
- [8] Xing D, Wu Y. Photosynthetic response of three climber plant species to osmotic stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000 [J]. *Acta Physiologiae Plantarum* 2012, 34(5): 1659 - 1668.
- [9] Wu Y Y, Liu C Q, Li P P, et al. Photosynthetic characteristics involved in adaptability to Karst soil and alien invasion of paper mulberry (*Broussonetia papyrifera* L. Vent) in comparison with mulberry (*Morus alba* L.) [J]. *Photosynthetica* 2009, 47(1): 155 - 160.
- [10] 吴沿友.喀斯特适生植物固碳增汇策略[J].*中国岩溶* 2011, 30(4): 461 - 465.

肖婷婷,刘广林,张鑫等.不同光照度对美国红枫幼苗生长和叶色变化的影响[J].江苏农业科学,2016,44(3):220-223.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.03.061

不同光照度对美国红枫幼苗生长和叶色变化的影响

肖婷婷,刘广林,张鑫,张丽杰,王续蕾
(沈阳农业大学林学院 辽宁沈阳 110866)

摘要:为探究不同光照条件对美国红枫苗木生长和叶色表达的影响,采用1年生改良美国红枫 *Acer × freem anii* ‘Autumn Blaze’扦插苗为试验材料,采用盆栽试验的方法,设4个光照度处理,即100%光照度(自然光)、75%光照度、55%光照度、35%光照度。研究表明:本试验中,在幼苗生长方面,株高在光照度为75%时表现出一定促进作用,达到59.73 cm,比100%光照度下的植株高5 cm,但75%光照度与100%光照度其他指标并无显著差异,与55%与35%光照度下有极显著的差异。地径和生物量各组表现规律基本一致,随着光照度的减弱而降低。75%光照度对地径和生物量有一定的抑制作用但并不显著,而55%、35%光照度下与100%、75%光照度下有明显差异。在幼苗叶色变化方面,100%自然光下叶片呈现鲜红色,观赏性最强,变色最早。75%光照度下虽有利于幼苗生长,但是其在叶色变色期,叶片变色较为缓慢,观赏性欠佳。因此,综合美国红枫幼苗生长和叶片呈色的协同促进作用,认为美国红枫适宜栽植在100%光照度的环境。

关键词:美国红枫;光照度;幼苗生长;叶色变化

中图分类号: S687.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)03-0220-04

美国红枫(*Acer rubrum*),又名红花槭,是槭树科槭属落叶大乔木,原产于美国东北部。美国红枫由于树干通直,树冠优美、叶色多彩、生长快速等优点,得到国内园林应用部门的青睐,尤其是在秋季少花的北方地区。近几年,沈阳开始引种美

国红枫作为景观树种,但笔者发现美国红枫在实际园林应用中主要凭借经验进行栽培,缺乏科学依据和指导。主要表现在彩叶植物应用时往往连片种植,未考虑不同位置光照特点,导致部分植株生长缓慢、叶色偏黄等问题出现,影响其景观效果。大量研究结果表明:光照因子不仅影响彩叶植物的生长发育,还影响其叶色表现。不同的植物叶片对光照度的反应表现不同,如血红鸡爪槭(*Acer palmatum* ‘Bloodgood’)、元宝枫(*Acer truncatum* Bunge)等必须在全光照下才能发挥其彩叶的最佳色彩^[1-3];而一些彩叶植物叶片只有在较弱的散射光下才会呈现出斑斓的色彩,强光会使彩斑严重褪色,如一叶兰(*Aspidistra elatior* Blume)在63%的遮阴度下才能够较好地呈

收稿日期:2015-12-21

基金项目:辽宁省农业科技攻关项目(编号:2014207005、2011207003)。

作者简介:肖婷婷(1990—),女,辽宁沈阳人,硕士研究生,主要从事园林植物方向研究。E-mail:694211280@qq.com。

通信作者:刘广林,教授,主要从事园林植物栽培与应用方向研究。E-mail:lg13263@126.com。

[11]杨碧仙.贵州省五加科药用植物的生境和地理分布研究[J].时珍国医国药,2010,21(6):1505-1506.

[12]梁婕.莽草的化学成分和生物活性研究[D].福州:福建中医药大学,2011.

[13]刘军民,丁平,徐鸿华,等.长刺槲木的生药学研究[J].广州中医药大学学报,2000,17(2):173-175,194.

[14]左经会,林长松,田应洲.贵州玉舍国家森林公园种子植物区系研究[J].广西植物,2006,26(4):434-440.

[15]向红,左经会,林长松,等.贵州玉舍国家森林公园药用种子植物资源调查[J].北方园艺,2010(17):79-82.

[16]Van Kooten O, Snel J F. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology [J]. Photosynthesis Research, 1990, 25(3):147-150.

[17]吴沿友,施王,坤,李萍萍,等.一种利用铈微电极测定植物碳酸酐酶活力的电化学方法:中国 CN101793860A [P]. 2010-08-15.

[18]Wu Y Y, Shi Q Q, Wang K, et al. An electrochemical approach coupled with Sb microelectrode to determine the activities of carbonic anhydrase in the plant leaves [J]. Lecture Notes in Electrical Engineering 2011, 86(1):87-94.

[19]李合生,孙群,赵世杰,等.植物生理生化实验技术原理[M].北京:高等教育出版社,2000:248-250.

[20]Sun C X, Qi H, Hao J J, et al. Single leaves photosynthetic characteristics of two insect-resistant transgenic cotton (*Gossypium hirsutum* L.) varieties in response to light [J]. Photosynthetica, 2009, 47(3):399-408.

[21]Li X G, Meng Q W, Zhao S J. Photoinhibition and photoprotection mechanisms in *Ginkgo biloba* leaves under strong light stress [J]. Scientia Sinicae Sinicae, 2004, 40(3):56-59.

[22]Gorbe E, Galatayud A. Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: a review [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 138(1):24-35.

[23]李强,何媛媛,曹建华,等.植物碳酸酐酶对岩溶作用的影响及其生态效应[J].生态环境学报,2011,20(12):1867-1871.

[24]Scartazza A, Lauteri M, Guido M C, et al. Carbon isotope discrimination in leaf and stem sugars, water-use efficiency and mesophyll conductance during different developmental stages in rice subjected to drought [J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1998, 25(4):489-498.