

濒危植物长序榆(*Ulmus elongata*)幼苗 光合特性的初步研究

高建国, 徐根娣, 李文巧, 邱志军, 刘鹏*

浙江师范大学植物学实验室, 浙江 金华 321004

摘要: 用 Li-6400XT 便携式光合作用仪对一年生和当年生濒危植物长序榆幼苗的光合日变化进行了观测, 为科学保护提供理论依据和技术途径。结果发现, 一年生和当年生长序榆幼苗的光合日变化均为单峰曲线, 无“午休”现象。当年生的平均净光合累积量($5.64 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)大于一年生的净光合累积量($5.05 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。胞间二氧化碳(C_i)浓度与光合日变化基本上是相反的。气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)没有明显的变化规律。光能利用率(LUE)中午 12:00 最低, 水分利用率(WUE)13:00 最高。一年生和当年生的光饱和点(LSP)分别为 $1620.75 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $1123.07 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 二者的光补偿点(LCP)均较低, 分别为 $8.33 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $8.89 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 即长序榆幼苗是一光适应幅度较大的植物。偏相关分析表明光合有效辐射(PAR)和大气温度(T_a)是决定其净光合速率的主要环境因子。

关键词: 濒危植物, 长序榆, 光和作用, 环境因子, 偏相关分析

中图分类号: Q945.11

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2011) 01-0066-06

长序榆(*Ulmus elongata*)是 1979 年我国发现的榆属新种^[1], 隶属于榆科榆属总序榆组(Sect. *Chaetoptalae*), 该组共有 4 种, 长序榆是该组在东亚的唯一代表, 为我国特有, 在研究北美和东亚植物地理学和系统演化中具有重要意义。由于数量极少, 濒临灭绝, 故列为国家二级重点保护植物^[2]。目前对长序榆的研究较少, 如蒋延生^[3]和赖文胜等^[4]分别对福建天然长序榆种群和一年生播种苗的更新进行研究, 指出光照和气温是影响长序榆生长与更新的关键因素。在繁育方面, 得出长序榆属愈伤组织生根类型, 枝条部位、插穗长度和激素类型是影响生根成活的主要因素, 一年生播种苗密度以 $45\times 10^4\sim 60\times 10^4$ 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 较为适宜^[5]。康华靖等^[6]应用样方调查的方法分析了九龙山国家级自然保护区长序榆群落的种类组成、群落外貌、垂直结构、水平结构以及种群动态, 发现长序榆群落物种单一且不稳定, 胸径(DBH)在 2.5 cm 以下的长序榆幼苗或幼树没有分布, 说明其更新严重受阻, 这可能与在郁闭环境下无法进行满足自身需求的光合作用有关。

光合作用是植物进行有机物积累和能量转换的主要形式, 在物质循环、水循环和气候变化中扮演着重要作用, 是评价植物第一生产力的标准之一。光合能力的强弱直接影响着植物物种的存活, 而环境因子对植物光合作用的影响较大, 长

序榆濒危的原因中有没有内在光合能力不足而导致的种群退化还没有分析报道, 故本文拟测定长序榆旺盛生长期的光合日变化, 并分析了影响光合作用的主要环境因子, 为科学保护长序榆提供理论依据和技术途径。

1 材料与方法

1.1 研究样地

本研究于 2010 年 9 月上旬在浙江师范大学植物园(29°08' N, 119°38' E)进行, 研究样地海拔 68m, 年平均日照时数为 2062.6 h, 属亚热带季风气候, 年降水量在 1350~1997 mm 之间, 平均气温 17.3 °C, 极端低温-9.6 °C, 极端最高温为 41.2 °C, ≥ 10 °C 的平均积温为 5504.5 °C^[7]。试验当天最大光合有效辐射(PAR)为 $1198.75 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 全天平均 PAR 为 $307.46 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 平均大气温度(T_a)为 36.64 °C。

1.2 试验材料

试验材料为于 2010 年 4 月底从福建南平东山村移栽的一年生和当年生长序榆幼苗, 苗圃栽培, 常规管理。每个年龄段选择 3 株长势一致的幼苗, 分别对第 3~5 叶位的叶片进行编号标记。选择晴朗的天气, 使用 Li-6400XT 便携式光合作用仪测定净光合速率(P_N)、胞间二氧化碳浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)等光合各参数, 测定光合参数的同时由光合作用仪自动记录光合

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(Y5090339)

作者简介: 高建国(1987年生), 男, 硕士, 研究方向为植物生理生态。E-mail: gaojianguo9999@163.com

*通信作者: 刘鹏。E-mail: sky79@zjnu.cn

收稿日期: 2010-12-27

有效辐射(PAR)、叶面温度(T_l)、大气温度(T_a)、大气二氧化碳浓度(C_a)和基于叶温的蒸汽压亏缺(VpdL)等各环境因子。试验从早上 08:00 持续到下午 16:00, 每隔 1 h 测定一次。为减少误差, 一年生和当年生幼苗的叶片交叉重复测定 3 次

1.3 水分利用率和光能利用率

水分利用率(WUE)和光能利用率(LUE)均为瞬时测定值, 计算公式如下: $WUE=P_N/T_r^{[8]}$, $LUE=P_N/PAR^{[9]}$ 。

1.4 光响应曲线的测定

光响应曲线的测定于早上 10:00—11:30 进行, 使用 Li-6400XT 自带的 LED 红蓝光源叶室, 开放气路, 测定前使用自然光源充分诱导 1 h 以上。设定测定温度 25 °C, CO_2 浓度为 400 $\mu mol \cdot mol^{-1}$, 流速 500 $\mu mol \cdot s^{-1}$ 。PAR 设定 2000、1800、1600、1500、1200、1000、800、600、400、200、150、100、50、20、0 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 15 个梯度, 最小等待时间设定 120 s, 最大等待时间为 200 s。本文选用叶子飘的光响应模型^[10-12]非线性拟合求解光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)、最大净光合速率(P_{max})、暗呼吸速率(R_d)和表观量子效率(AQY)等参数。拟合表达式: $P_N = \alpha \times (1 - \beta \times PAR) \times PAR / (1 + \gamma \times PAR) - R_d$ 。

α : 光响应曲线的初始斜率; β : 修正系数;

γ : 光响应曲线的初始斜率/最大净光合速率。

1.5 数据分析

使用 PASW(SPSS 18.0)进行逐步多元回归和偏相关分析, Origin 8.0 作图。

2 结果与分析

2.1 净光合速率和胞间二氧化碳浓度的日变化

两种年龄段的长序榆光合日变化均为单峰曲线, 没有“午休”现象。一年生 08:00 时净光合速率(2.56 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)大于当年生(2.30 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$),

09:00、10:00 和 11:00 点的当年生 P_N 大于一年生。中午 12:00 一年生和当年生 P_N 达到最大值, 一年生的(10.44 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)大于当年生的(10.12 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)。16:00 的净光合速率均较低, 均小于 2 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 。胞间二氧化碳浓度的日变化与净光合速率的日变化基本上相反, 这与濒危植物西藏巨柏^[13]、云锦杜鹃^[14]和乌药^[15]的变化规律相似。一年生和当年生长序榆幼苗均在 13:00 达到最低。

2.2 蒸腾速率与气孔导度的日变化

植物的光合作用过程伴随着叶片的蒸腾耗水过程。蒸腾作用的强弱是表明植物水分代谢的一个重要生理指标。一般来说, 蒸腾速率大的净光合速率也大。一年生的蒸腾速率呈波浪状折线, 早上 08:00 和下午 16:00 最低, 中午时段较高(图 2A)。当年生的呈现“M”型折线, 最低的 3 个时刻为: 08:00、13:00 和 16:00, 其中 13:00 较高的气温导致了气孔导度骤降(图 2B), 从而使蒸腾速率在 13:00 最低。

气孔导度与蒸腾速率有相似的变化规律。长序榆一年生和当年生幼苗的蒸腾速率和气孔导度都呈现一定的波动, 这与司建华等^[16]对胡杨叶片日变化的研究中是一致的。气孔导度与净光合速率的相关性在不同的年龄段有差异, 其中一年生 G_s 没有达到统计学意义上的显著水平($r=0.206$, $P=0.065$); 而当年生的 G_s 相关系数都较低($r=0.449$, $P<0.01$), 说明 G_s 的变化是个复杂的过程^[17]。

2.3 水分利用率和光能利用率

水分利用率(WUE)指植物每消耗一单位水分所产生的干物质质量, 它实质上反映了植物消耗每单位质量的水分所固定的 CO_2 数量, 反映了植物耗水与干物质生产之间的关系。而光能利用率(LUE)是表征植物固定太阳能效率的指标, 指植物通过光合作用将所截获或吸收的能量转化为有机

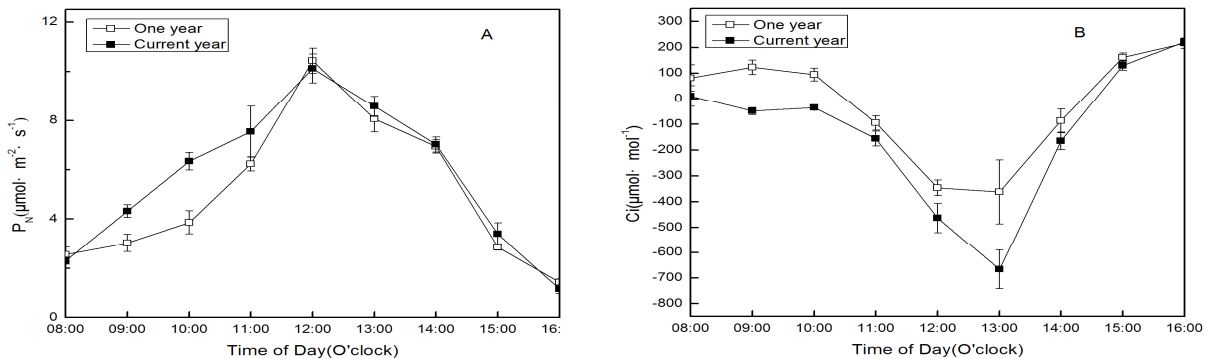


Fig.1 The diurnal variations of net photosynthetic rate (A), intercellular CO_2 concentration (B) of one year and current year seedlings of *Ulmus elongata*

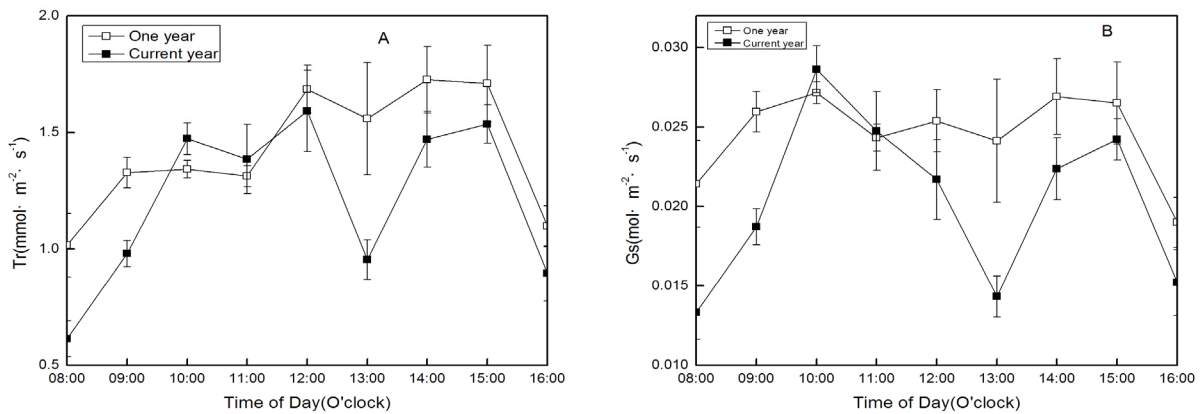


图 2 一年生和当年生长序榆幼苗蒸腾速率(A)和气孔导度(B)的日变化

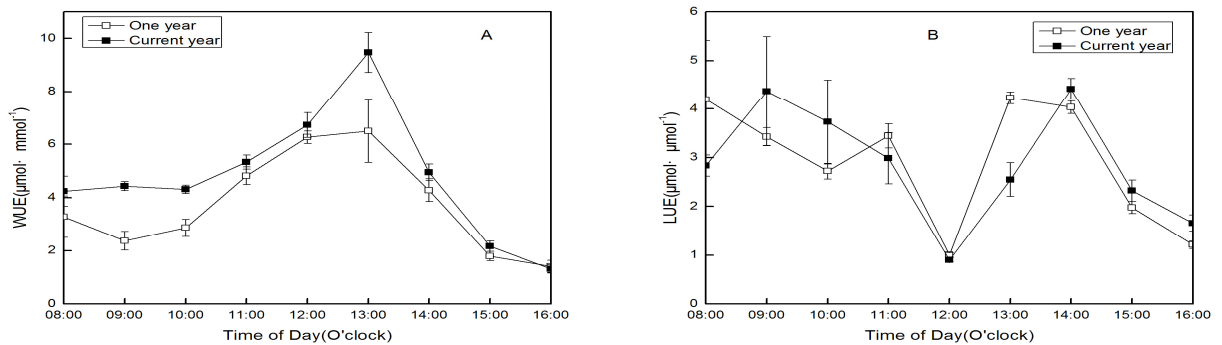
Fig.2 The diurnal variations of transpiration rate (A), stomatal conductance (B) of one year and current year seedlings of *Ulmus elongata*

图 3 一年生和当年生长序榆幼苗水分利用率(A)和光能利用率(B)的日变化

Fig.3 The diurnal variations of water use efficiency (A), light use efficiency (B) of one year and current year seedlings of *Ulmus elongata*

干物质的效率,是植物光合作用的重要概念^[18]。当年生的水分利用率大于一年生的水分利用率,二者均在 13:00 达到最大,其中当年生 WUE 为 $9.47 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,一年生 WUE 为 $6.49 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。16:00 的水分利用率最低,一年生 WUE 大于当年生,分别为 $1.41 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 和 $1.31 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。两种幼苗的光能利用率均在下午的某一时刻达到最大,其中一年生 LUE 在 13:00 达到 4.23%,当年生 LUE 在 14:00 达到 4.42%。二者均在中午 12:00 最低,为 1%左右,此时较低的光能利用率估计与叶片无法吸收利用高通量的光照进行光合作用有关,光能利用率的日变化整体上呈现“倒 N”字型。

2.4 光响应曲线

通过对光响应曲线的分析,我们可以得到光饱和点(LSP)、最大净光合速率(P_{\max})、光补偿点(LCP)和暗呼吸速率(R_d),以及表观量子效率(AQY)。从光响应曲线图 4 可知,一年生和当年生在小于 $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的光强范围内,一直是直线上升的, $600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以后上升缓慢,一年生的在 $1800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右产生明显的光抑制,当

年生的在 $1500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右净光合速率显著降低。在高光强下,由于植物叶片叶绿体中系统 II(PS II)受到损伤,导致光化学效率降低,电子传递活性下降,净光合速率也降低^[19]。

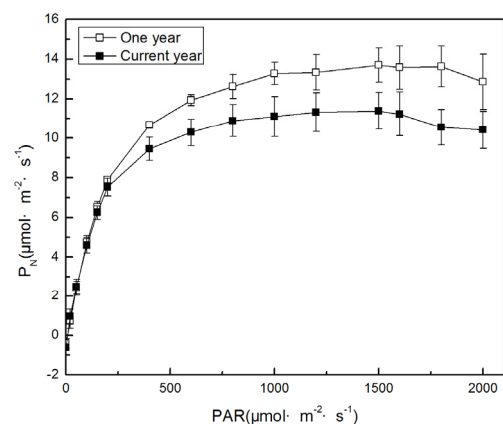


图 4 一年生和当年生长序榆幼苗的光响应曲线

Fig.4 The response of net photosynthetic rate(P_N) of one year and current year seedlings of *Ulmus elongata*

表 1 显示一年生的光饱和点较高,说明一年生的叶片抵御强光的能力较强。二者的光补偿点较低,说明都有一定的耐阴性。一年生的最大净光合速率大于当年生的,这与其有较高的表观量子效率和较低的暗呼吸速率有关。

2.5 净光合速率与环境因子的关系

对一年生和当年生的净光合速率与各生态因子进行简单相关分析(表 2、表 3),净光合速率与 PAR、 T_1 、 T_a 、 C_a 、RH、VpdL 均达到了极显著差异($P<0.01$)。应用逐步多元回归分析方法,以 PAR、 T_1 、 T_a 、 C_a 、RH、VpdL 为自变量,建立最优回归方程。一年生的多元线性回归方程: $P_N=10.853+0.007PAR+2.251T_a-0.084C_a-1.590T_1-5.159RH$ (Adjusted $R^2=0.763$),当年生的多元线性回归方程: $P_N=17.181+0.005PAR-0.110C_a+3.673T_a-3.009T_1$ (Adjusted $R^2=0.787$)。

由于光合作用是个复杂而又敏感的过程,各环境因子的变化会对净光合速率产生较大的影响。为了找到对净光合速率有真实显著作用的环境因子,对两者进行了偏相关分析^[20],结果发现

影响一年生光合作用的环境因子大小依次为:光合有效辐射($r=0.569, P<0.01$)>气温($r=0.369, P<0.01$)>大气二氧化碳浓度($r=-0.255, P<0.05$)>相对湿度($r=-0.134, P=0.253$)>叶温($r=0.043, P=0.714$),而对当年生影响较为显著的环境因子分别为光合有效辐射($r=0.642, P<0.01$)>气温($r=0.574, P<0.01$)>大气二氧化碳浓度($r=-0.229, P<0.01$)>叶温($r=0.050, P=0.673$)。

3 讨论

光合作用是衡量植物生长状况的重要生理生态指标,通过对濒危植物长序榆光合日变化的测定,我们发现两种幼苗均为单峰曲线,没有“午休”现象,说明长序榆幼苗具有较强的光合能力。试验当天最大的 PAR 不超过 $1200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,且为长序榆幼苗旺盛生长期的后期,至于其他生长阶段有没有“午休”需要进一步研究。由于光合作用越强,消耗的 CO_2 就越多,而气态的 CO_2 在液相的胞间和胞内存在这扩散阻力,因此,胞间 CO_2 得不到迅速的补充,浓度就会下降;反之,若光合作用弱,胞间 CO_2 浓度就会上升,导致长序榆

表 1 一年生和当年生长序榆幼苗光饱和点,光补偿点,最大净光合速率,暗呼吸速率,表观量子效率(平均值±标准误差)
Table 1 Light saturation point (LSP), light compensation point (LCP), maximum net photosynthetic rate (P_{\max}), dark respiration rate (R_d) and apparent quantum yield (AQY) of one year and current year seedlings of *Ulmus elongata* (means±SE)

	LSP/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	LCP/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	P_{\max} / ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	R_d / ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	AQY/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
One year	1 620.75±259.9	8.33±2.55	13.63±0.55	0.33±0.15	0.042 1±0.000 2
Current year	1 123.07±59.45	8.89±3.47	11.19±0.96	0.68±0.18	0.039 9±0.001 8

表 2 一年生幼苗净光合速率与环境因子的相关性矩阵
Table 2 Correlation matrix of P_N and the enviromental factors of one year seedlings

	P_N	PAR	T_1	T_a	C_a	RH	VpdL
P_N	1.000						
PAR	0.724**	1.000					
T_1	0.575**	0.521**	1.000				
T_a	0.524**	0.403**	0.985**	1.000			
C_a	-0.435**	-0.311**	0.235*	0.298**	1.000		
RH	0.507**	0.611**	0.336**	0.275*	-0.479**	1.000	
VpdL	0.553**	0.496**	0.994**	0.979**	0.272*	0.244*	1.000

*: $P<0.05$, **: $P<0.01$

表 3 当年生幼苗净光合速率与环境因子的相关性矩阵
Table 3 Correlation matrix of P_N and the enviromental factors of current year seedlings

	P_N	PAR	T_1	T_a	C_a	RH	VpdL
P_N	1.000						
PAR	0.780**	1.000					
T_1	0.573**	0.639**	1.000				
T_a	0.503**	0.524**	0.985**	1.000			
C_a	-0.520**	-0.467**	0.152	0.281*	1.000		
RH	0.539**	0.571**	0.318**	0.257*	-0.490**	1.000	
VpdL	0.549**	0.630**	0.993**	0.976**	0.17	0.225*	1.000

* $P<0.05$; ** $P<0.01$

叶片的胞间二氧化碳浓度日变化与净光合速率的日变化基本上相反。气孔导度是衡量气孔开放程度的指标,气孔是植物与外界进行气体交换的孔道和控制蒸腾的结构,通过它的开闭来调控植物的气体交换率和水分蒸腾率,对植物的生活起着极为重要的作用,气孔导度直接影响着光合作用、蒸腾作用等。长序榆一年生和当年生气孔导度和蒸腾速率的日变化表现出一定的波动,这有助于其调整光合作用对CO₂吸收和蒸腾作用对水分散失的矛盾,从而提高水分利用率,抵御不良环境。两种长序榆幼苗的蒸腾速率和气孔导度没有明显的规律,基本上是呈波浪折线状。当年生的蒸腾速率、气孔导度的变化幅度比一年生大,说明当年生长序榆幼苗对环境因子更敏感^[21]。一年生的水分利用率大于当年生的,这与较低的蒸腾作用和较高的净光合速率有关。二者的光能利用率有相同的变化规律,呈现“倒N”字型,估计影响光能利用率的因素较多,这需要进一步探讨。

通过逐步多元回归分析和偏相关分析,发现影响长序榆幼苗光合作用的环境因子主要是光合有效辐射、气温。分析原因主要是,光照是植物进行光合作用不可缺少的条件,光不仅是光合作用中能量的来源,而且还具有调节气孔开放以及调节酶活性的作用。由于光合作用的碳反应是一系列的酶促反应,温度可以影响酶的活性,所以温度对光合作用也有明显的影响,适宜的温度可以保障核酮糖1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶(RuBisCo)的活性。

常杰等^[22]对同属于伞形科的濒危植物明党参和峨参进行了比较研究,发现明党参光合时间短,无法进行满足自身需求的有机物的积累是导致明党参濒危的主要原因。当年生长序榆幼苗的平均净光合累积量($5.64 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)大于一年生的净光合累积量($5.05 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$),与濒危植物银杉光合能力从当年生到一年生逐渐下降的研究结论一致^[23],这或许是在野外很少见到一年生及以上年龄段长序榆幼苗和幼树的原因。

植物光合作用光饱和点(LSP)和补偿点(LCP)显示了植物叶片对强光和弱光的利用能力,代表了植物的需光特性和需光量。LSP和LCP的差值越大,说明其适应光照幅度越大,光合能力也就越强。有研究表明,较高的LSP和较低的LCP是导致金花茶^[24]和翅果油树^[25]濒危的原因之一。一年生和当年生长序榆幼苗的光补偿点均较低,具有阴生植物的特点,说明长序榆幼苗有较强的耐阴性。光补偿点与光饱和点跨度较大,长序榆的光适应幅度较宽,如在自然环境条件下适当的增加

林下透光率或许可以改善其生存状况^[26]。另外,蒋延生认为^[3]长序榆种子结实量大、种子的发芽率也很高,但种子传播距离近、林下不能满足全光照是导致濒危的主要原因。我们的研究发现,长序榆幼苗的净光合速率对光合有效辐射和大气温度敏感,光适应幅度大,如能适当增加光照或可解除濒危状态。

致谢: 感谢浙江师范大学化学与生命科学学院研究岑维亚在实验上的帮助与指导。

参考文献:

- [1] 傅立国,陈家瑞,汤彦承. 中国榆科植物志资料[J]. 植物分类学报, 1979, 17(1): 45-47.
FU Ligu, CHEN Jiarui, TANG Yancheng. The Flora of Ulmaceae in China [J]. Acta Phytotaxonomica Sinica, 1979, 17(1): 45-47.
- [2] 于永福. 中国野生植物保护工作的里程碑: 国家重点保护野生植物名录(第一批)出台[J]. 植物杂志, 1999, 5: 3-11.
YU Yongfu. A milestone in China's wild plant conservation—The directory of national key protected wild plants (first batch) was introduced[J]. Plant Journal, 1999, 5: 3-11.
- [3] 蒋延生. 长序榆天然更新调查研究 [J]. 福建林业科技, 2003, 30(4): 55-58.
JIANG Yansheng. The study on natural regeneration of *Ulmus elongata*[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2003, 30(4): 55-58.
- [4] 赖文胜. 长序榆一年生播种苗的年生长规律[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2001, 25(4): 57-60.
LAI Wensheng. Study on annual growth dynamics of one-year-old seedlings for *Ulmus elongata*[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences, 2001, 25(4): 57-60.
- [5] 田野,董铁民,赖文胜,等. 长序榆繁殖特性的研究[J]. 河北林学院学报, 1996, 11(Z): 25-29.
TIAN Ye, DONG Tiemin, LAI Wensheng, et al. The studies on reproductive characteristics of *Ulmus elongata*[J]. Journal of Hebei Forestry University, 1996, 11(Z): 25-29.
- [6] 刘鹏,康华靖,廖承川,等. 浙江九龙山自然保护区长序榆群落结构特征研究[J]. 浙江师范大学学报: 自然科学版, 2007, 30(4): 435-439.
LIU Peng, KANG Huajing, LIAO Chengchuan, et al. Structure features of *Ulmus elongata* community in Jiulongshan national natural reserved area[J]. Journal of Zhejiang Normal University: Natural Sciences, 2007, 30(4): 435-439.
- [7] 胡天印,方芳,郭水良,等. 外来入侵种加拿大一枝黄花及其伴生植物光合特性研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2007, 33(4): 379-386.
HU Tianyin, FANG Fang, GUO Shuilang, et al. Comparison of basic photosynthetic characteristics between exotic invasive weed *Solidago canadensis* and its companion species[J]. Journal of Zhejiang University: Agriculture & Life Sciences, 2007, 33(4): 379-386.
- [8] CUI Ningbo, DU Taisheng, KANG Shaozhong, et al. Relationship between stable carbon isotope discrimination and water use efficiency under regulated deficit irrigation of pear-jujube tree[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(11): 1615-1622.
- [9] EVRENDILEK F, BEN ASHER J, AYDIN M. Diurnal photosynthesis, water use efficiency and light use efficiency of wheat under Mediterranean field conditions[J]. Journal of Environmental Biology, 2008, 19(3): 397-406.
- [10] 叶子飘. 光响应模型在超级杂交稻组合-II 优明 86 中的应用[J]. 生态学杂志, 2007, 26(8): 1323-1326.
YE Zipiao. Application of light-response model in estimating the photosynthesis of super-hybrid rice combination-II Youming 86[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(8): 1323-1326.

- [11] YE Z P. A new model for relationship between irradiance and the rate of photosynthesis in *Oryza sativa*[J]. *Photosynthetica*, 2007, 45(4): 637-640.
- [12] 叶子飘, 于强. 一个光合作用光响应新模型与传统模型比较[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(6): 771-775.
YE Zipiao, YU Qiang. Comparison of a new model of light response of photosynthesis with traditional models[J]. *Journal of Shenyang Agriculture University*, 2007, 38(6): 771-775.
- [13] 兰小中, 廖志华, 王景升. 西藏高原濒危植物西藏巨柏光合作用日进程[J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3172-3175.
LAN Xiaozhong, LIAO Zhihua, WANG Jingsheng. The diurnal course of photosynthesis of the endangered species Tibetan *Cupressus gigantea* in Tibet Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3172-3175.
- [14] 金则新, 柯世省. 云锦杜鹃叶片光合作用日变化特征[J]. 植物研究, 2004, 24(4): 447-452.
JIN Zexin, KE Shisheng. The diurnal variation of photosynthesis in leaves of *Rhododendron fortunei*[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2004, 24(4): 447-452.
- [15] 王小伟, 金则新, 柯世省, 等. 乌药光合特性日进程与其环境因子的相关分析[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(2): 5-10.
WANG Xiaowei, JIN Zexin, KE Shisheng, et al. Diurnal photosynthetic characteristics of *Lindera aggregata* and its correlation with environmental factors[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2010, 25(2): 5-10.
- [16] 司建华, 常宗强, 苏永红, 等. 胡杨叶片气孔导度特征及其对环境因子的响应[J]. 西北植物学报, 2008, 28(1): 125-130.
SI Jianhua, CHANG Zongqiang, SU Yonghong, et al. Stomatal conductance characteristics of *Populus euphratica* leaves and response to environmental factors in the extreme arid region[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(1): 125-130.
- [17] GUSTAVO M S, RICARDO F D O, Victor José Mendes Cardoso. Temporal dynamics of stomatal conductance of plants under water deficit: can homeostasis be improved by more complex dynamics [J]? *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 2004, 47(3): 423-431.
- [18] 赵育民, 牛树奎, 王军邦, 等. 植被光能利用率研究进展[J]. 生态学报, 2007, 26(9): 1471-1477.
ZHAO Yumin, NIU Shukui, WANG Junbang, et al. Light use efficiency of vegetation: A review[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(9): 1471-1477.
- [19] MELIS A. Photosystem-II damage and repair cycle in chloroplasts: what modulates the rate of photodamage [J]? *Trends in Plant Science*, 1999, 4(4): 130-135.
- [20] 岳春雷, 刘亚群. 濒危植物南川升麻光合生理生态的初步研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(1): 71-75.
YUE Chunlei, LIU Yaquin. Preliminary studies on physiological ecology of photosynthesis of an endangered plant—*Cimicifuga nanchuanensis*[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1999, 23(1): 71-75.
- [21] MASSIMO BERTAMINI, NAMACHEVAYAM NEDUNCHEZHIAN. Photoinhibition of photosynthesis in mature and young leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.) [J]. *Plant Science*, 2003, 164(4): 635-644.
- [22] CHANG J, GE Y, LU Y J, et al. A Comparison of Photosynthesis in Endangered and Non-Endangered Plants *Changium smyrnioides* and *Anthriscus sylvestris* [J]. *Photosynthetica*, 2002, 40(3): 445-447.
- [23] 张旺锋, 樊大勇, 谢宗强, 等. 濒危植物银杉幼树对生长光强的季节性光合响应[J]. 生物多样性, 2005, 13(5): 387-397.
ZHANG Wangfeng, PAN Dayong, XIE Zongqiang, et al. The seasonal photosynthetic responses of seedlings of the endangered plant *Cathaya argyrophylla* to different growth light environments [J]. *Biodiversity Science*, 2005, 13(5): 387-397.
- [24] WEI X, JIANG Y S, JIANG S Y, et al. Photosynthetic characteristics of an endangered species *Camellia nitidissima* and its widespread congener *Camellia sinensis* [J]. *Photosynthetica*, 2008, 46 (2): 312-314.
- [25] 郝晓杰, 毕润成. 濒危植物翅果油树的光合生理特性研究[J]. 山西师范大学学报: 自然科学版, 2009, 23(3): 64-68.
HAO Xiaojie, BI Runcheng. Photosynthetic characteristics of endemic and endangered plant *Elaeagnus mollis*[J]. *Journal of Shanxi Normal University: Natural Sciences*, 2009, 23(3): 64-68.
- [26] 莫凌, 唐文秀, 毛世忠, 等. 珍稀濒危植物狭叶坡垒的光合特性[J]. 福建林学院学报, 2009, 29(4): 357-361.
MO Ling, TANG Wenxiu, MAO Shizhong, et al. Photosynthesis characteristics of rare and endangered plant *Hopea chinensis*[J]. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2009, 29(4): 357-361.

Preliminary studies on photosynthetic characteristics of endangered plant *Ulmus elongata* seedlings

GAO Jianguo, XU Gendi, LI Wenqiao, QIU Zhijun, LIU Peng*

The botany laboratory of the College of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua Zhejiang 321004, China

Abstract: Diurnal variations of endangered plant one year and current year *Ulmus elongata* seedlings were studied by using Li-6400XT portable photosynthesis system with the aim of protecting and providing technical approaches. It was found that both current and one year growth *Ulmus elongata* seedlings had one single peak, which had no "midday depression". For current year seedlings, the average net photosynthetic accumulation ($5.64 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) was greater than the accumulation of net photosynthesis ($5.05 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) of one year seedlings. The diurnal variations of intercellular CO_2 concentration (C_i) was opposite to the net photosynthesis. The diurnal variations of stomatal conductance (G_s) and transpiration rate (T_r) had no significant certain law. Light use efficiency (LUE) were lowest at 12:00, water use efficiency (WUE) were highest at 13:00. Light saturation point (LSP) of one year seedlings was $1\ 620.75 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, and $1\ 123.07 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ for current year seedlings, the light compensation point (LCP) of both were very low, $8.33 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ and $8.89 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, respectively. It indicated that *Ulmus elongata* seedlings would be adapted to a large scale of light. Partial correlation analysis showed that the major environmental factors of net photosynthetic rates were the photosynthetic active radiation (PAR) and air temperature (T_a).

Key words: Endangered plant, *Ulmus elongata*, Photosynthesis, Environmental factors, Partial correlation analysis