

曾维军, 屈坤杰, 万诚, 李鹏, 席培宇, 李蕾佳, 王济红. 干旱胁迫对毛豹皮樟扦插苗光合作用与叶片组织结构的影响 [J]. 广东农业科学, 2021, 48(6): 7-14.

干旱胁迫对毛豹皮樟扦插苗光合作用与叶片组织结构的影响

曾维军¹, 屈坤杰², 万诚¹, 李鹏¹, 席培宇¹, 李蕾佳¹, 王济红¹

(1. 贵州省生物研究所, 贵州 贵阳 550009;
2. 上海市岩土地质研究院有限公司, 上海 200072)

摘要:【目的】了解干旱胁迫对毛豹皮樟扦插苗光合作用与叶片组织结构的影响规律。【方法】以3年生毛豹皮樟扦插苗为试材, 设置4种不同程度干旱胁迫处理: CK(土壤体积持水量为39.6%)、轻度(土壤体积持水量为29.2%)、中度(土壤体积持水量为19.5%)、重度(土壤体积持水量为9.7%), 分析毛豹皮樟净光合速率日变化规律、气体交换参数与环境因子相关性及叶片横切组织结构, 研究干旱胁迫对其光合作用与叶片组织结构的影响。【结果】重度干旱下, 毛豹皮樟扦插苗“光合午睡”明显, 超过2 h, 光合日变化平均净光合速率为 $1.9712 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, 光合能力较低, 叶表相对湿度与净光合速率相关系数为-0.462, 所以维持叶片正常光合生理需增加空气水分、降低温度; 中度干旱下, 毛豹皮樟扦插苗叶片叶绿素总量较高、为1.25 mg/L, 从而对干旱胁迫作出响应; 伴随干旱程度递增, 叶片气孔导度降低, 中度和重度干旱胁迫下的叶片气孔导度在 $0.03 \text{ mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 左右, 严重影响其水分利用和气体交换, 毛豹皮樟扦插苗叶片组织结构也发生变化, 上表皮厚度变薄, 栅栏组织变厚, 海绵组织变薄。【结论】干旱胁迫能降低毛豹皮樟扦插苗的光合作用, 同时也改变叶片组织结构, 干旱胁迫下的光合作用能力与叶片组织结构变化规律的相关性需进一步研究。

关键词: 毛豹皮樟; 干旱胁迫; 扦插苗; 光合作用; 叶片组织结构

中图分类号: S792.23; Q945.79 文献标志码: A 文章编号: 1004-874X(2021)06-0007-08

Effects of Drought Stress on Photosynthesis and Leaf Tissue Structure of *Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa* Cutting Seedlings

ZENG Weijun¹, QU Kunjie², WAN Cheng¹, LI Peng¹, XI Peiyu¹, LI Leijia¹, WANG Jihong¹

(1. Guizhou Institute of Biology, Guiyang 550009, China;
2. Shanghai Geotechnical Research Institute Co., Ltd, Shanghai 200072, China)

Abstract: 【Objective】The study was carried out to understand the effects of drought stress on photosynthesis and leaf tissue structure of *Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa* cutting seedlings. 【Method】Three-year-old *L. coreana* Levl. var. *lanuginosa* cutting seedlings were used as experimental materials, and 4 drought stress treatments were set: CK (soil volume water holding capacity of 39.6%), mild drought (soil volume water holding capacity of 29.2%), moderate drought (soil volume water holding capacity of 19.5%), and severe drought (soil volume water holding capacity of 9.7%). The effects of drought stress on photosynthesis and leaf tissue structure of cutting seedlings of *L. coreana* Levl. var. *lanuginosa* were studied by analyzing the diurnal changes of net photosynthetic rate, the correlation between gas exchange parameters and environmental factors and the leaf transverse tissue structure. 【Result】Under severe drought, the “photosynthetic siesta”

收稿日期: 2021-03-26

基金项目: 中央引导地方科技发展资金项目([2019]4023号); 贵州科学院青年基金([2018]6号)

作者简介: 曾维军(1994—), 男, 硕士, 研究实习员, 研究方向为植物生理生化, E-mail: 478353921@qq.com

通信作者: 王济红(1969—), 女, 硕士, 研究员, 研究方向为植物学, E-mail: 821877303@qq.com

of *Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa* cutting seedlings was obvious, with over 2 hours. The average net photosynthetic rate of photosynthesis was $1.9712 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, the photosynthetic capacity was low, and the photosynthetic rate correlation coefficient of relative humidity of leaf surface and net photosynthetic rate was -0.462 , therefore, it is necessary to increase the air moisture and lower the temperature to maintain the normal photosynthetic physiology of the leaves. Under moderate drought, the total amount of chlorophyll in the cutting seedlings of *L. coreana* Levl. var. *lanuginosa* was higher (1.25 mg/L), which could respond to drought stress. With the increase of drought degree, leaf stomatal conductance decreased. Leaf stomatal conductance under moderate and severe drought stress was about $0.03 \text{ mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, which seriously affected its water use and gas exchange. The tissue structure of seedling leaves was also changing, the thickness of the upper epidermis became thinner, the palisade tissue became thicker, and the spongy tissue became thinner. 【Conclusion】 Drought stress can reduce the photosynthesis of *L. coreana* Levl. var. *lanuginosa* cutting seedlings, and it also changes the leaf tissue structure. The correlation between photosynthesis capacity and leaf tissue structure changes under drought stress needs to be further studied.

Key words: *Litsea coreana* Levl. var. *Lanuginosac*; drought stress; cutting seedlings; photosynthesis; leaf organization

【研究意义】毛豹皮樟 (*Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa*) 是樟科木姜子属植物朝鲜木姜子 (*L. coreana*) 的变种, 零星分布于贵州、四川、重庆、安徽、广东和云南等亚热带地区。嫩叶是西南地区传统茶饮老鹰茶的主要原料, 具有消暑解渴、消食祛胀、降血糖血脂等功效^[1-2]。在实际应用中, 作为老鹰茶原料的毛豹皮樟种植于坡地, 洪涝较少, 但地理、气候等环境因素造成的干旱缺水情况较多, 制约毛豹皮樟的生长发育, 间接影响老鹰茶的品质, 所以在干旱胁迫下对毛豹皮樟进行植物逆境生理研究尤为重要。【前人研究进展】近 5 年, 关于毛豹皮樟的研究主要集中在形态特征及地理分布^[3]、遗传选育^[4]、开发及利用^[5]、化学成分及药理作用、生理特征、分子生物学等方面。例如, 唐茜等^[6-7]研究表明, 矿物质营养主要是钾、镁、磷、钙、钠、铁和锰, 均为人体必需营养, 其中钾参与人体蛋白质、氨基酸和碳水化合物的代谢, 对心脏和心血管具有保护作用, 能降低血压^[8]。范川等研究了毛豹皮樟苗木对低温胁迫的生理响应, 发现毛豹皮樟的过氧化氢酶 (CAT)、过氧化物酶 (POD) 活性及丙二醛 (MDA) 含量在处理温度及品种间具有显著差异, 均可作为毛豹皮樟抗寒性评价指标, 同时还发现超氧化物歧化酶 (SOD) 与毛豹皮樟抗涝性有极强的相关性^[5]; 经方差分析发现, 毛豹皮樟的 CAT、POD 活性及 SS、MDA 含量在处理温度及品种间都有显著差异, 均可作为毛豹皮樟抗寒性评价指标^[9-10]。巩艳红等^[11]采用改良 SDS 法从毛豹皮樟的老、幼叶片中提取到高质量 DNA, 可以用于 RAPD 分析, 从 4 组随机引物中筛选出 16 个显示毛豹皮樟遗传差异的多态性引

物, 该方法适用于毛豹皮樟的种质资源鉴定分析。

【本研究切入点】关于逆境生理下叶片光合能力及组织形态差异的相关研究少见报道, 不能进一步阐明毛豹皮樟生理生态的相关规律。【拟解决的关键问题】本研究以用于生产种植的毛豹皮樟扦插苗为研究对象, 探究不同程度干旱胁迫对毛豹皮樟扦插苗叶片组织结构及光合作用的影响, 探究毛豹皮樟扦插苗逆境生理特性, 为其高效栽培管理技术提供理论支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试材料为毛豹皮樟 3 年生扦插苗, 平均株高 $25 (\pm 2) \text{ cm}$ 、基径粗 $3 (\pm 0.5) \text{ mm}$, 由贵州省生物研究所培育。

1.2 试验地点

试验地点位于贵州省湄潭县兴隆镇丁家沟村 ($107^\circ 48' \text{ E}$ 、 $27^\circ 67' \text{ N}$)。试验场地为覆膜简易大棚, 用透光率 50% 的遮阳网做外遮阳, 温度为自然变温, 简易塑料大棚上覆盖透光率为 50% 的遮阳网。试验地属亚热带湿润季风气候, 夏季温暖湿润, 冬季干燥寒冷, 年均气温 14.9°C , 最冷月 (1 月) 平均气温 3.8°C , 最热月 (7 月) 平均气温 25.1°C , 无霜期平均 284 d, 年日照时数 1 163 d。试验于 2018 年 6 月进行, 该月平均气温 25.6°C 。

1.3 试验方法

用口径 $15 \text{ cm} \times$ 高 20 cm 塑料盆栽植, 栽培基质为腐质土、蛭石 (体积比 1 : 1) 的混合基质; 每盆装入基质 1.0 kg, 定植 1 株。确定混合基质田间最大持水量, 设置 4 种不同程度的干旱胁迫处

理: CK (土壤体积持水量为 39.6%)、轻度 (土壤体积持水量为 29.2%)、中度 (土壤体积持水量为 19.5%)、重度 (土壤体积持水量为 9.7%)，采取称重法定期补水。每个处理 30 株苗，3 次重复。2018 年 1 月 2 日定植，2 月 1 日开始处理 (定植 30 d)，5 月 5 日后所有处理统一水管理 (5 d 浇一次透水)，6 月 5~10 日开始取样和测量相关指标。

1.4 测定方法

1.4.1 光合日变化测定 6 月 5 日，晴天，8: 00~18: 00，每隔 1 h 分别选定相同干旱处理下 3 株毛豹皮樟扦插苗顶枝的一片成熟叶，使用 Li6400 光合测定仪 (LI-COR，美国) 测量其净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO_2 浓度 (C_i)、蒸腾速率 (T_r)，同时记录光合有效辐射 (PAR)、空气中 CO_2 浓度 (C_a)、空气温度 (T) 及相对湿度 (RH)。

1.4.2 光合气体交换参数测定 6 月 10 日，晴天，9: 30~11: 30，使用带红蓝光源的 LI6400 光合测定仪 (LI-COR，美国)，以对照顶枝叶片光响应曲线光饱和点 ($1\ 192\ \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$) 为参考，设定光强 $1\ 100\ \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ，选定相同干旱处理下 3 株毛豹皮樟扦插苗顶枝的一片成熟叶，测量其 P_n 、 G_s 、 C_i 、 T_r 。

1.4.3 叶片气孔限制值水分利用效率、计算气孔限制值 $L_s = 1 - C_i/C_a$ 。其中， C_a 为空气中 CO_2 浓度。水分利用效率 $WUE = P_n/T_r$ 。

1.4.4 叶绿素总量测定 不同干旱胁迫程度下各选取 3 株毛豹皮樟扦插苗顶枝一片成熟叶，使用 UV-1800SPC 双光束紫外分光光度计 (Macy，中国美析仪器有限公司)，采用丙酮乙醇混合液法测定叶绿素总量 (T_c) [12]。

1.4.5 叶片组织结构测量 不同干旱胁迫程度下各选取 1 株毛豹皮樟扦插苗顶枝一片成熟叶进行制片，使用 Primovert 显微镜 (ZEISS，德国卡尔·蔡司股份公司) 在每张切片上随机挑选 5 个 200 倍视野进行观察和拍照。应用 Image-Pro Plus 6.0 软件以 200 倍标尺为标准，选取 10 处测量每张片子上表皮厚度、下表皮厚度，测量栅栏组织和海绵组织的厚度、密度 (每个视野中栅栏组织和海绵组织的个数)。

1.5 数据处理

使用 Graph Pad Prism9.0，对不同干旱胁迫程度下毛豹皮樟扦插苗叶片气体交换参数、水分利用效率、气孔限制值、叶绿素总量进行方差分析，采用 S-N-K 法进行多重比较，实现数据实时可视化。使用 SPSS24.0 软件，采用皮尔逊相关性分析法对光合和环境日变化参数进行相关分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对毛豹皮樟扦插苗叶片净光合速率日变化的影响

由表 1 可知，轻度干旱胁迫下毛豹皮樟扦插苗叶片没有明显的光合午休现象，曲线呈单峰型，日均净光合速率为 $3.53\ \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ，15: 00 时净光合速率达峰值 $6.22\ \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ；CK、中度、重度干旱胁迫的日均净光合速率分别为 3.69 、 3.33 、 $1.97\ \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ，均存在明显光合午休现象，其中 CK 曲线呈单峰型，光合午休时间最短、为 1 h；中度、重度干旱胁迫的光合日变化为双峰曲线；重度干旱下净光合速率日变异系数最大、为 68.23%，CK 最小、为 28.65%。

表 1 不同干旱胁迫程度下豹皮樟扦插苗叶片净光合速率日变化
Table 1 Diurnal changes of net photosynthetic rate of *Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa* cutting seedlings under different drought stresses

处理 Treatment	光合日变化模式 Photosynthetic daily change mode	光合午休时间 Photosynthetic siesta (h)	净光合速率 P_n		
			最大值 Max ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	平均值 Mean ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	变异系数 CV (%)
CK	单峰型	1	5.2565	3.6921	28.65
轻度干旱胁迫 Mild drought stress	单峰型	0	6.2215	3.5312	24.71
中度干旱胁迫 Moderate drought stress	双峰型	3	6.2978	3.3315	14.55
重度干旱胁迫 Severe drought stress	双峰型	2	3.2501	1.9712	68.23

2.2 不同干旱胁迫程度下毛豹皮樟扦插苗叶片光合和环境参数日变化相关性分析

如表 2 所示, 在毛豹皮樟扦插苗叶片光合和环境参数的 16 组对应组合中, CK 有 10 组对应组合显著相关, 轻度干旱胁迫有 15 组, 中度干旱胁迫 15 组, 重度干旱胁迫 11 组; CK 的 C_i 与 RH 的正相关性最高、相关系数为 0.689, T_r 与 RH 的负相关性最高、相关系数为 -0.593; 轻度干旱胁迫下, C_i 与 RH 的正相关性最高、相关系

数为 0.870, P_n 与 Ca 的负相关性最高、相关系数为 -0.920; 中度干旱胁迫下, G_s 与 RH 的正相关性最高、相关系数为 0.749, G_s 与 T 的负相关性最高、相关系数为 -0.723; 重度干旱胁迫下, G_s 与 RH 的正相关性最高、相关系数为 0.913, G_s 与 T 的负相关性最高、相关系数为 -0.869。

2.3 干旱胁迫对毛豹皮樟扦插苗叶片气体交换参数的影响

如图 1 所示, 随着干旱胁迫程度增加, 毛豹

表 2 不同干旱胁迫程度下毛豹皮樟扦插苗叶片光合和环境参数日变化相关性
Table 2 Correlation of diurnal changes of leaf photosynthetic and environmental parameters of *Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa* cutting seedlings under different drought stresses

处理 Treatment	参数 Parameters	P_n	G_s	C_i	T_r	PAR	Ca	T	RH	
CK	P_n	1	0.208*	-0.387**	0.421**	0.128	-0.099	0.304**	-0.163	
	G_s		1	0.772**	0.222*	-0.233*	0.525**	0.062	0.522**	
	C_i			1	-0.134	-0.345**	0.651**	-0.145	0.689**	
	T_r				1	0.614**	-0.454**	-0.013	-0.593**	
	PAR					1	-0.230*	-0.238*	-0.509**	
	Ca						1	-0.221*	0.830**	
	T							1	-0.056	
	RH								1	
	轻度干旱胁迫 Mild drought stress	P_n	1	-0.267**	-0.868**	0.746**	0.473**	-0.920**	0.835**	-0.827**
		G_s		1	0.662**	0.153	0.091	0.415**	-0.535**	0.585**
C_i				1	-0.427**	-0.330**	0.864**	-0.854**	0.870**	
T_r					1	0.436**	-0.713**	0.724**	-0.675**	
PAR						1	-0.327**	0.317**	-0.329**	
Ca							1	-0.922**	0.920**	
T								1	-0.991**	
RH									1	
中度干旱胁迫 Moderate drought stress	P_n	1	-0.149	-0.587**	0.268*	-0.248*	-0.176	0.290*	-0.234*	
	G_s		1	0.763**	0.069	-0.338**	0.507**	-0.723**	0.749**	
	C_i			1	-0.023	-0.055	0.502**	-0.700**	0.687**	
	T_r				1	0.372**	-0.659**	0.571**	-0.545**	
	PAR					1	-0.460**	0.497**	-0.548**	
	Ca						1	-0.847**	0.862**	
	T							1	-0.993**	
	RH								1	
重度干旱胁迫 Severe drought stress	P_n	1	-0.215	-0.556**	0.370**	0.108	-0.503**	0.527**	-0.462**	
	G_s		1	0.633**	0.273*	-0.289*	0.818**	-0.869**	0.913**	
	C_i			1	-0.234*	-0.271*	0.709**	-0.800**	0.787**	
	T_r				1	0.207	-0.155	0.058	-0.037	
	PAR					1	-0.300*	0.270*	-0.310**	
	Ca						1	-0.854**	0.871**	
	T							1	-0.990**	
	RH								1	

注: * 表示显著相关, ** 表示极显著相关。

Note: * represents significant correlation, and ** represents extremely significant correlation.

皮樟扦插苗叶片 P_n 均值显著降低, 数据离散程度增加, 中度干旱胁迫的 P_n 均为接近于 0 的负值; CK 的 G_s 显著高于其他 3 个干旱处理, 中度、重度干旱胁迫下的 G_s 差异不显著; 两者 C_i 均值较

高, CK 的 C_i 均值较低, CK、重度干旱胁迫的 C_i 值聚集程度较高; 处理间 T_r 相比较, CK 与轻度干旱胁迫差异不显著, 但显著高于中度、重度干旱胁迫。

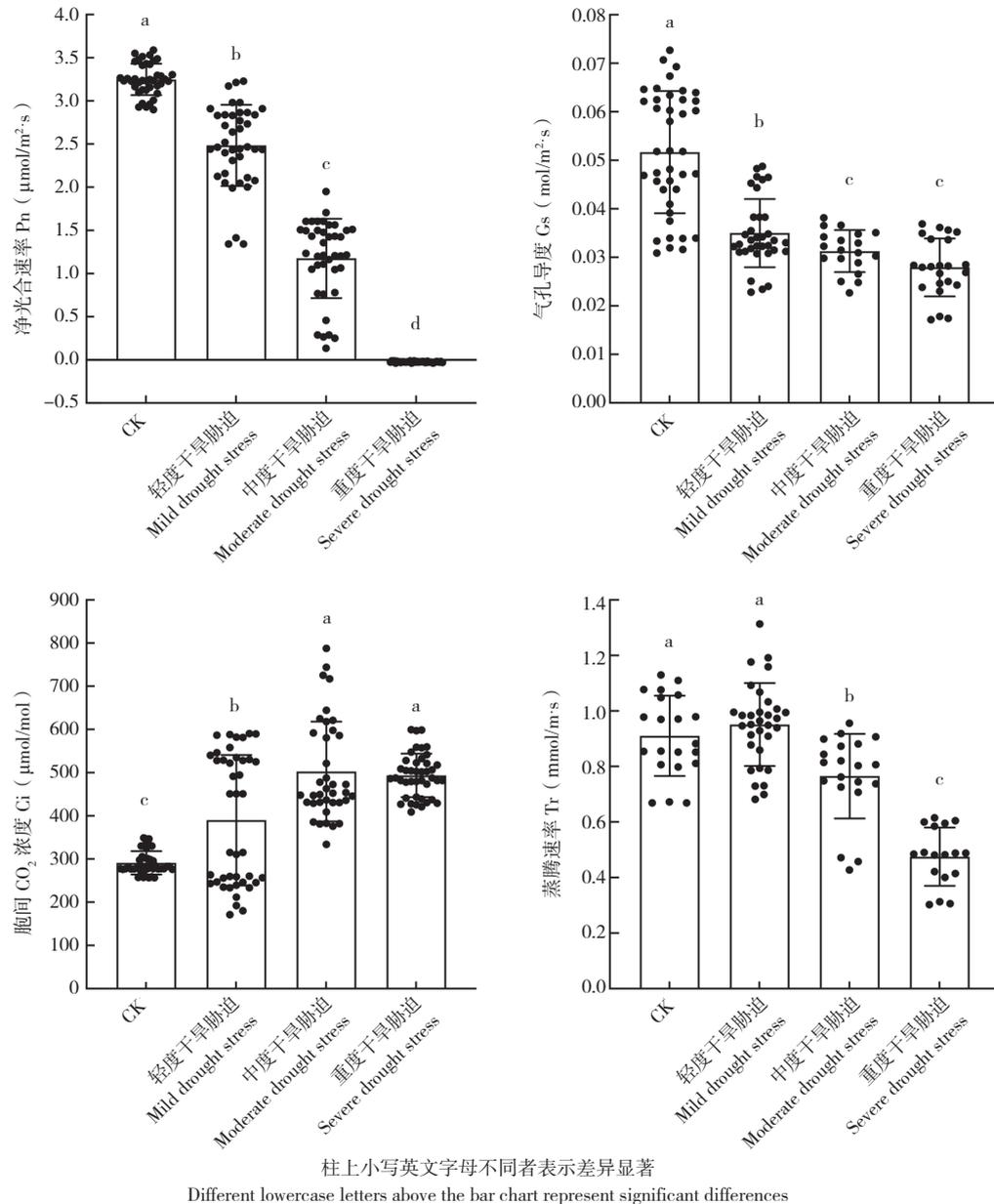


图 1 干旱胁迫对毛豹皮樟扦插苗叶片气体交换参数的影响

Fig. 1 Effects of drought stresses on gas exchange parameters of *Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa* cutting seedlings

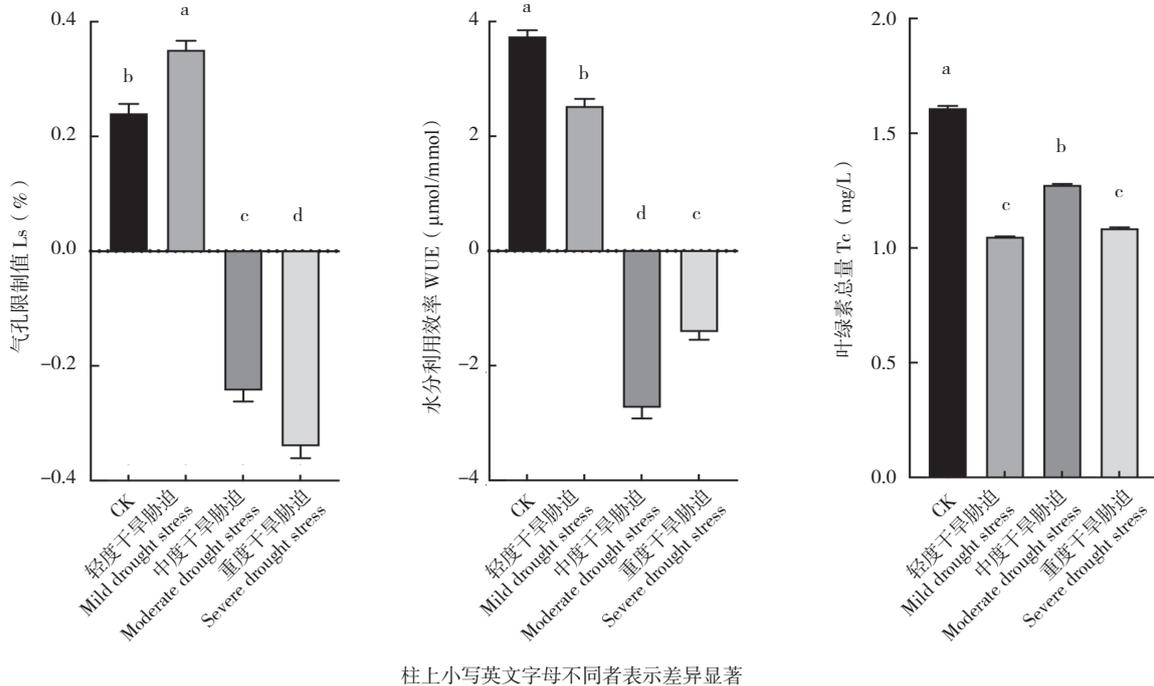
2.4 干旱胁迫对毛豹皮樟扦插苗叶片水分利用效率、气孔限制值和叶绿素总量的影响

由图 2 所示, 中度、重度干旱胁迫下毛豹皮樟扦插苗叶片的 L_s 、WUE 均为负值, 其中重度干旱胁迫下的 L_s 值最低, 中度干旱胁迫下的 WUE 值最低, 轻度干旱胁迫下的 L_s 显著高于 CK, CK 的 WUE 显著高于轻度干旱胁迫, 是轻度

干旱胁迫下的近两倍。CK 的 T_c 为 1.61 mg/L, 极显著高于轻度、重度干旱胁迫, 显著高于中度干旱胁迫, 其中轻度和重度干旱胁迫下的 WUE 差异不显著, 但均显著低于中度干旱胁迫。

2.5 干旱胁迫对毛豹皮樟扦插苗叶片横切组织结构的影响

由图 3、图 4 可知, 3 个干旱处理的毛豹皮樟



柱上小写英文字母不同者表示差异显著
Different lowercase letters above the bar chart represent significant differences between different treatments

图 2 干旱胁迫对毛豹皮樟扦插苗叶片水分利用效率、气孔限制值和叶绿素总量的影响

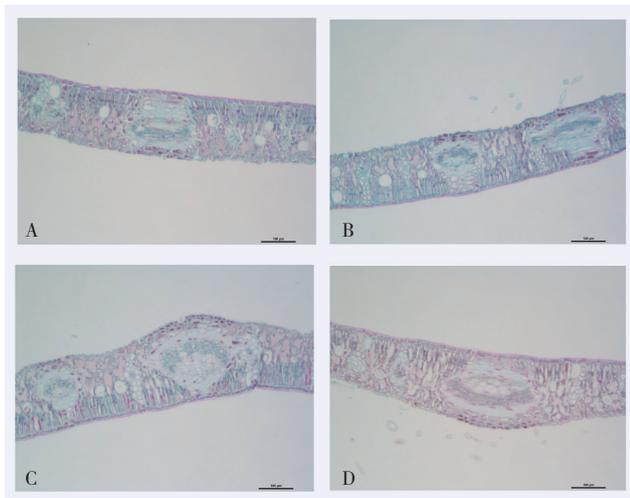
Fig. 2 Effect of drought stresses on WUE, Ls and Tc of *Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa* cutting seedlings

扦插苗叶片上表皮厚度均显著小于 CK；随着干旱胁迫程度增加，叶片下表皮厚度先减后增；CK 的栅栏组织厚度最高、轻度最低；海绵组织厚度均值的变化随干旱胁迫的加强而先增后减，重度干旱胁迫的海绵组织厚度均值最高、为 0.097 mm；

干旱处理下的叶片栅栏组织密度与 CK 相比均不显著；轻度干旱胁迫的叶片海绵组织密度为 179 个，显著高于 CK。

3 讨论

“光合午睡”过长不利于植物光合作用积累有机物。对照、中度、重度干旱胁迫下毛豹皮樟均有明显“光合午睡”现象，中度时间最长，轻度干旱胁迫无此现象，说明轻度干旱胁迫能打破毛豹皮樟“光合午睡”，但继续干旱胁迫会加重该现象，不利于光合作用。光合能力是植物进行新陈代谢的基础，也是影响作物品质和产量的重要条件^[13]。净光合速率反映植物积累有机物快慢，是衡量光合能力的重要参数。净光合速率日变化模式有双峰型、单峰型、平坦型和不规则型等多种类型^[14]，不同干旱胁迫程度下毛豹皮樟扦插苗叶片净光合速率日变化类型主要是双峰型和单峰型。重度干旱胁迫下的净光合速率日变异系数最大，高于对照 2 倍，同时均值和最大值也最低，说明自然环境中遇到严重干旱，毛豹皮樟利用光能合成有机物的水平较低且不稳定。随着干旱程度增加，光合参数与环境因子的相关性先增后降，且相关程度也在发生变化，其中关联性较高的环境因子为空气相对湿度和温度。



A-D: 分别是 CK、轻度、中度、重度干旱
A-D: CK condition, mild, moderate, and severe drought, respectively

图 3 干旱胁迫对毛豹皮樟扦插苗叶片横切组织显微结构的影响

Fig. 3 Effects of drought stresses on the microstructure of leaf transverse tissue structures of *Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa*

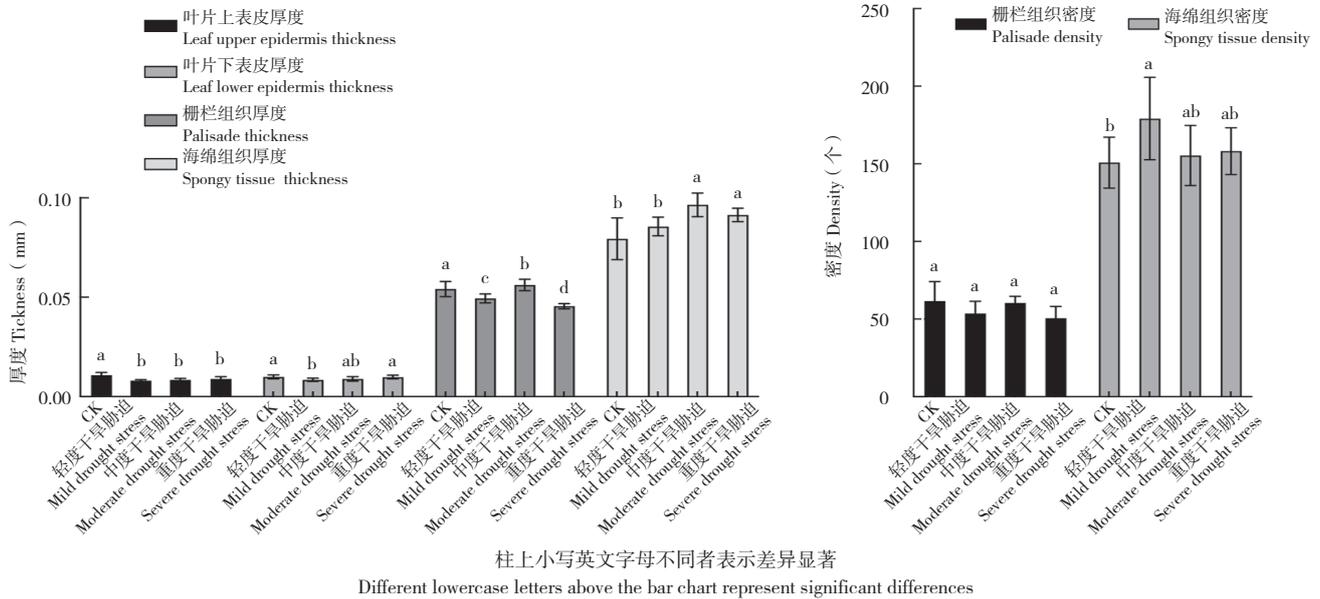


图 4 干旱胁迫对毛豹皮樟扦插苗叶片横切组织结构的影响

Fig. 4 Effect of drought stresses on leaf transverse tissue structure of *Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa* cutting seedlings

干旱胁迫往往显著降低植物的光合作用^[15]，与本试验中“毛豹皮樟扦插苗叶片净光合速率均值伴随干旱胁迫程度增加而显著降低”的结论相似。对照的气孔导度高，胞间 CO₂ 浓度低，干旱胁迫下则相反，说明干旱胁迫显著影响毛豹皮樟扦插苗叶片的气孔开张程度，让气孔变小甚至关闭，导致胞间 CO₂ 浓度升高。中度和重度干旱下，气孔限制值和水分利用效率呈负值，说明中度干旱开始毛豹皮樟扦插苗已经缺水、叶片气孔不能正常工作，同时影响叶片叶绿素合成、叶绿素总量降低，但在中度干旱下，叶绿素总量有小幅增加，可能是毛豹皮樟响应干旱胁迫的应激反应。

在自然生长条件下，核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶 (Rubisco) 的活化、核酮糖-1,5-二磷酸 (RuBP) 的再生是完整叶片以最佳状态进行光合作用的两个重要代谢步骤，主要发生在叶片的栅栏组织和海绵组织细胞内^[16-17]。细胞内真正的 CO₂ 供应速率，则受叶片表皮部分气孔保卫细胞的控制^[18-20]。3 个干旱处理的叶片上表皮厚度均显著小于对照，说明干旱胁迫通过改变表皮气孔保卫细胞的状态来影响 CO₂ 供应速率，从而影响毛豹皮樟扦插苗的光合速率；CK 叶片栅栏组织厚度最高，重度干旱胁迫最低，中度干旱胁迫的叶片海绵组织厚度均值最高，轻度干旱胁迫的叶片海绵组织密度最高与中度、重度干旱胁迫差异不显著，说明毛豹皮樟扦插苗叶片在干旱胁迫下响应光合作用而特化出来的细胞减少、气

体交换增加，栅栏组织是豹皮樟扦插苗叶片传递环境改变信号的传递层，而海绵组织则是应对这种环境改变的反应层。

4 结论

干旱胁迫影响毛豹皮樟扦插苗叶片“光合午睡”时长、净光合速率日变化及气体交换参数与环境因子的相关性，重度干旱加重“光合午睡”，降低光合能力，维持叶片正常光合生理需增加空气水分、降低温度；干旱胁迫影响毛豹皮樟扦插苗叶片气孔开张状态和叶绿素总量，中度干旱下能增加叶片叶绿素总量来响应干旱胁迫，重度干旱严重影响其水分利用和气体交换；毛豹皮樟扦插苗通过降低叶片上表皮厚度、增加栅栏组织厚度、降低海绵组织厚度来响应干旱胁迫。

参考文献 (References) :

- [1] 向应海,鲁新成.老鹰茶.贵州大娄山民族民间古茶种[J].贵州科学,1998,16(3):216-220.
XIANG Y H,LU X C.Eagle tea—an ancient folk tea species of dalou mountain in Guizhou [J].*Guizhou Science*,1998,16(3):216-220.
- [2] 唐茜,刘军.毛豹皮樟生物学特性及驯化栽培技术初探[J].贵州茶叶,2001,108(4):13-17.
TANG Q,LIU J.Preliminary study on biological characteristics and domestication and cultivation techniques of *Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa* [J].*Guizhou Tea*,2001,108(4):13-17.
- [3] 中国科学院昆明植物研究所.云南植物志(第3卷)[M].北京:科学出版社,1983.
Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences.Flora of

- Yunnan (Volume Three) [M]. Beijing: Science Press, 1983.
- [4] 沈君子, 叶明, 舒阿庆, 殷克权, 杨柳. 老鹰茶 (*Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa*) 多酚类化合物的提取纯化及 EGCG 含量测定 [J]. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2010, 36 (3): 329-334.
SHEN J Z, YE M, SHU A Q, YIN K Q, YANG L. *Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa* polyphenols extraction and purification and EGCG content determination [J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences Edition)*, 2010, 36 (3): 329-334.
- [5] 范川, 李贤伟, 张健, 荣丽, 喻晓钢, 刘生明. 毛豹皮樟 4 个品种幼苗对水涝胁迫的生理响应 [J]. 西北林学院学报, 2009, 24 (6): 10-14.
FAN C, LI X W, ZHANG J, RONG L, YU X G, LIU S M. Physiological responses of seedlings of four varieties to waterlogging stress of *Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa* [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2009, 24 (6): 10-14.
- [6] 唐茜, 齐桂年. 毛豹皮樟饮料资源的开发利用 [J]. 四川林业科技, 1998, 19 (4): 66-68.
TANG Q, QI G N. Development and utilization of *Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa* Beverage resources [J]. *Sichuan Forestry Science and Technology*, 1998, 19 (4): 66-68.
- [7] 陈玉璞, 程文明, 李俊. 老鹰茶中黄酮类化学成分分析 [J]. 安徽医科大学学报, 2008 (1): 65-67. DOI:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2008.01.018.
CHEN Y P, CHENG W M, LI J. Analysis of flavonoids in Eagle Tea [J]. *Journal of Anhui Medical University*, 2008 (1): 65-67. DOI:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2008.01.018.
- [8] 许乾丽, 周雪松, 茅向军. 老鹰茶和虫茶的 6 种生命元素分布状态和存在形态研究 [J]. 贵州科学, 1999 (2): 140-143.
XU Q L, ZHOU X S, MAO X J. Study on the distribution and existing forms of six life elements in eagle tea and chongcha [J]. *Guizhou Science*, 1999 (2): 140-143.
- [9] 范川, 李贤伟, 张健, 潘燕, 王敬, 蒲永波. 毛豹皮樟苗木对低温胁迫的生理响应 [J]. 林业科技, 2009, 34 (1): 8-11.
FAN C, LI X W, ZHANG J, PAN Y, WANG J, PU Y B. Physiological response of *Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa* seedlings to low temperature stress [J]. *Forestry Technology*, 2009, 34 (1): 8-11.
- [10] 郁建平, 古练权. 贵州老鹰茶的化学成分 [J]. 植物资源与环境学报, 2001 (3): 61-62.
YU J P, GU L Q. Chemical constituents of Guizhou Eagle Tea [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2001 (3): 61-62.
- [11] 巩艳红. 毛豹皮樟的叶片 DNA 提取及其 RAPD 引物筛选 [J]. 西北林学院学报, 2004, 19 (4): 35-37.
GONG Y H. Extraction of DNA from the leaves of *Litsea coreana* Levl. var. *lanuginosa* and screening of its RAPD primers [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2004, 19 (4): 35-37.
- [12] 张宪政. 植物叶绿素含量测定: 丙酮乙醇混合液法 [J]. 辽宁农业科学, 1986 (3): 26-28.
ZHANG X Z. Determination of plant chlorophyll content: acetone-ethanol mixed solution method [J]. *Liaoning Agricultural Science*, 1986 (3): 26-28.
- [13] 马艺杰, 苏世平, 李毅. 不同核桃品种光合参数比较 [J]. 中国农学通报, 2019, 35 (5): 58-63.
MA Y J, SU S P, LI Y. Comparison of photosynthetic parameters of walnut varieties [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35 (5): 58-63.
- [14] 孙丽君, 吕光辉, 田幼华, 张雪妮, 张雪梅. 不同土壤水分条件下荒漠植物白麻光合生理特性的比较 [J]. 新疆农业科学, 2011, 48 (4): 755-760.
SUN L J, LYU G H, TIAN Y H, ZHANG X N, ZHANG X M. Comparison on photosynthetic physiological characteristics of *Poa cynosuroides* (Schrenk.) Bail. of desert species under different soil water contents [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2011, 48 (4): 755-760.
- [15] 施钦, 包学文, 华建峰, 於朝广, 殷云龙, 芦治国. 干旱胁迫及复水对海滨木槿光合作用和生理特性的影响 [J]. 应用生态学报, 2019, 30 (8): 2600-2606. DOI:10.13287/j.1001-9332.201908.020.
SHI Q, BAO X W, HUA J F, YIN C G, YIN Y L, LU Z G. Effects of drought stress and rewatering on photosynthesis and physiological characteristics of *Hibiscus* [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2019, 30 (8): 2600-2606. DOI:10.13287/j.1001-9332.201908.020.
- [16] 赵雪, 张秀珍, 牟洪香, 贺红月, 杨可伟, 单媛媛. 文冠果幼苗叶片解剖结构和光合作用对干旱胁迫的响应 [J]. 北方园艺, 2017 (13): 38-44.
ZHAO X, ZHANG X Z, MU H X, HE H Y, YANG K W, SHAN Y Y. Response of leaf anatomical structure and photosynthesis of *Xanthoceras sorbifolia* seedlings to drought stress [J]. *Northern Horticulture*, 2017 (13): 38-44.
- [17] 陈晓明, 任正隆, 张怀渝, 唐宗祥, 罗培高. 蒙山绿茶和老鹰茶的防紫外线作用研究 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2005 (5): 278-281.
CHEN X M, REN Z L, ZHANG H Y, TANG Z X, LUO P G. Study on anti-ultraviolet effect of mengshan green tea and laoying tea [J]. *Journal of Radiation Research and Radiation Processing*, 2005 (5): 278-281.
- [18] 孙雷蕾, 张彦妮. 黄连花的光合日变化及干旱对其光合特性的影响 [J]. 草业科学, 2019, 36 (3): 658-665. DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0299.
SUN L L, ZHANG Y N. Diurnal changes in photosynthesis of *Coptis* and the effect of drought on its photosynthetic characteristics [J]. *Grass Science*, 2019, 36 (3): 658-665. DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0299.
- [19] 何小三, 王玉娟, 徐林初, 龚春, 俞元春. 干旱胁迫对不同油茶品种叶片解剖结构的影响 [J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40 (10): 1-17. DOI:10.14067/j.cnki.1673-923x.2020.10.001.
HE X S, WANG Y J, XU L C, GONG C, YU Y C. Effect of drought stress on anatomical structure of leaves of different camellia varieties [J]. *Journal of Central South University of Forestry and Technology*, 2020, 40 (10): 1-17. DOI:10.14067/j.cnki.1673-923x.2020.10.001.
- [20] 吴正花, 喻理飞, 严令斌. 周晨, 蔡国俊, 张建利. 三叶木通叶片解剖结构和光合特征对干旱胁迫的响应 [J]. 南方农业学报, 2018, 49 (6): 1156-1163. DOI:10.3969/j.issn.2095-1191.2018.06.16.
WU Z H, YU L F, YAN L B, ZHOU C, CAI G J, ZHANG J L. Responses of leaf anatomical structure and photosynthetic characteristics of *Akebia trifoliata* to drought stress [J]. *Southern Agricultural Journal*, 2018, 49 (6): 1156-1163. DOI:10.3969/j.issn.2095-1191.2018.06.16.