

doi : 10. 16473/j. cnki. xblykx1972. 2020. 04. 003

不同栽培基质荔波唇柱苣苔光合日变化及其影响因子分析*

姜霞, 李从瑞, 陈志萍, 王莲辉
(贵州省林业科学研究院, 贵州 贵阳 550005)

摘要: 为了解不同栽培基质条件下荔波唇柱苣苔的光合生理特性, 分别在田园土 (CK)、泥炭土:珍珠岩:黄心土 (2:1:1, A1)、腐殖土:珍珠岩:黄心土 (2:1:1, A2) 和腐殖土:黄心土 (2:1, A3) 4种不同栽培基质下, 采用 LI-6400XT 测定荔波唇柱苣苔的光合参数及其影响因子的日变化。结果表明, 4种栽培基质荔波唇柱苣苔的净光合速率 [P_n , $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 日均值为 $A_2 (1.00) > A_3 (0.82) > A_1 (0.76) > \text{CK} (0.46)$ 。不同栽培基质荔波唇柱苣苔 (P_n) 日变化均呈单峰曲线, 无光合“午休现象”; 水分利用效率 (WUE) 日变化呈单峰曲线, 气孔导度 (G_s) 和胞间 CO_2 浓度 (C_i) 日变化与蒸腾速率 (Tr) 日变化趋势相似, 呈双峰曲线。相关性分析表明, CK 中 P_n 与 G_s 呈显著正相关; A1 中 P_n 与相对湿度 (RH) 呈显著正相关; A2 中 P_n 与 C_i 、空气温度 (T_a) 呈显著正相关; A3 中 P_n 与 Tr 呈显著正相关; A1、CK 中 Tr 与 G_s 呈显著正相关, A2、A3 中 Tr 与 G_s 呈极显著正相关。不同栽培基质荔波唇柱苣苔的光合日进程有所不同, 说明荔波唇柱苣苔的栽培中要考虑相应的栽培基质。

关键词: 荔波唇柱苣苔; 栽培基质; 光合特性

中图分类号: Q 945.11 文献标识码: A 文章编号: 1672-8246 (2020) 04-0016-07

Photosynthetic Daily Variation and its Influencing Factors of *Chirita liboensis* in Different Substrate Compositions

JIANG Xia, LI Cong-rui, CHEN Zhi-ping, WANG Lian-hui
(Guizhou Academy of Forestry, Guiyang Guizhou 550005, P. R. China)

Abstract: In order to understand the photosynthesis characteristic of *Chirita liboensis* in different substrate composition, the photosynthesis diurnal variation of *Chirita liboensis* were measured by LI-6400XT portable photosynthetic system, and the substrate composition were bucolic soil (CK), peat soil : perlite : yellow clay (2 : 1 : 1, A1), humus soil : perlite : yellow clay (2 : 1 : 1, A2) and humus soil : yellow clay (2 : 1, A3). The results showed the the order of daily average net photosynthetic rate [P_n , $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] were $A_2 (1.00) > A_3 (0.82) > A_1 (0.76) > \text{CK} (0.46)$. The curves of P_n diurnal variation were single peak curves with no obvious midday decrease in photosynthesis. The curves of water use efficiency (WUE) diurnal variation were single peak curves. The diurnal variation of stomatal conductance (G_s) and intercellular CO_2 concentration (C_i) were similar to transpiration rate (Tr), which were presented as double-peak curves. The correlation analysis demonstrated that there was significant positive correlation between P_n and G_s in CK; There was significant positive correlation between P_n and RH in A1;

* 收稿日期: 2019-12-25

基金项目: 贵州省林业局项目“野生观赏花卉荔波唇柱苣苔培育技术研究 (黔林科合 [2016] 02)”, 贵州省科技厅项目“贵州苦苣苔科植物资源调查收集及栽培技术研究 (黔科合支撑 [2017] 2523)”。

第一作者简介: 姜霞 (1981-), 女, 硕士, 副研究员, 主要从事森林生态学研究。E-mail: 43644135@qq.com

通讯作者简介: 李从瑞 (1981-), 女, 高级工程师, 主要从事森林生态、景观生态、植物资源方面的研究。

E-mail: 461164991@qq.com

There was significant positive correlation among P_n and C_i , T_a in A2; There was significant positive correlation between P_n and T_r in A3; There was significant positive correlation between T_r and G_s in A1 and CK; There was significant positive correlation between T_r and G_s in A2 and A3. It showed that there was different in photosynthetic diurnal variation of *Chirita liboensis* among different substrate compositions, and this difference should be considered when cultivating.

Key words: *Chirita liboensis*; substrate composition; photosynthesis characteristics

苦苣苔科 (Gesneriaceae) 为多年生草本, 中国约 58 属 470 余种^[1]。苦苣苔科特有属、独种属和寡种属较多, 很多种类处于濒危状态, 据统计, 列入《中国物种红色名录》的苦苣苔科植物有 24 属 38 种^[2]。荔波唇柱苣苔 (*Chirita liboensis* W. T. Wang et D. Y. Chen) 属于苦苣苔科唇柱苣苔属植物, 多年生草本, 属贵州特有植物, 自然分布区小, 仅分布于贵州荔波; 其叶片革质或薄革质, 叶面有辐射状白色纹理, 叶色呈深绿色, 花冠蓝紫色, 花期 5 月, 花色艳丽, 叶型叶色变化丰富, 具有较高的观赏价值^[3]。作为珍稀濒危种^[2], 荔波唇柱苣苔的保护和恢复对喀斯特地区的植被保护和恢复具有重要意义。

植物生理生态学能够把濒危植物生长的环境因子与其生理过程结合起来, 从而揭示植物濒危的原因和机制。而光是植物生存和生长发育最重要的环境因子之一, 不同生态习性的植物具有不同的光环境适应策略^[4]。光合生理可反映植物对光适应的生态幅度, 从侧面可以反映植物在群落中的竞争能力的强弱, 在生存环境中所处的地位。如有的植物^[5]光补偿点较高, 光饱和点较低, 对光适应的生态幅度较窄, 在生存竞争中处于不利地位。因此, 研究光合生理能为濒危植物保护提供科学依据。

目前, 国内一些学者对荔波唇柱苣苔扦插繁殖技术、组培快繁技术已有研究^[6-8]。但对荔波唇柱苣苔的生理生态学特征研究较少, 特别是光合生理生态学特征的研究还未见报道。因此, 本研究通过对不同栽培基质荔波唇柱苣苔的光合生理生态学特征进行研究, 以期筛选出适合荔波唇柱苣苔栽培的最佳基质配方, 为荔波唇柱苣苔迁地保护与栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于贵州省林业科学研究院试验林场

(26°38'N、106°43'E), 海拔 1 105.1 ~ 1 197.1m, 属云贵高原山原地貌、中亚热带气候。年均气温 15.2℃, 1 月平均气温 6.3℃, 7 月平均气温 27.7℃, 极端最低气温 -7.3℃, 极端最高气温 37.5℃, 年均降雨量 1 198.9mm, 平均相对湿度 77%, 无霜期 278d。

1.2 试验材料与方法

以生长健壮的 2 年生荔波唇柱苣苔盆栽苗为试验材料, 设 CK、A1、A2、A3 共 4 个处理 (表 1), 3 次重复, 共 12 盆。供试的荔波唇柱苣苔采用盆栽方式, 植于直径 30cm、高 30cm 的花盆中, 每盆栽植 1 株, 置于引种圃内并覆盖遮阳网, 统一浇水。2018 年 8 月, 在植物生长旺盛、重量活动强烈的时期, 选取位于植株上部第 3 ~ 4 片生长旺盛、无病虫害的健壮成熟叶片, 每个处理 3 株重复, 每株选取同一方位的 1 片叶各测 5 次, 共测 12 株, 数据处理时取平均值作为该时刻的实测值。

使用 LI-6400XT 便携式光合作用测量系统 (美国 LI-COR 公司) 测定荔波唇柱苣苔盆栽苗光合特性, 测定时间段为 8:00—17:00, 每隔 1h 测定 1 次。测定指标光合特性因子: 净光合速率 [P_n , $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、蒸腾速率 [T_r , $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、胞间 CO_2 浓度 (C_i , $\mu\text{mol}/\text{mol}$)、气孔导度 [G_s , $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 等; 环境因子: 光合有效辐射 [PAR , $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、空气相对湿度 ($RH, \%$)、空气温度 ($T_a, \text{℃}$)、大气 CO_2 浓度 [C_a , $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 等。为消除时间上的误差, 测定时不同基质盆栽苗随机排序。

表 1 不同处理栽培基质配比

Tab. 1 The substrate composition by different treatments

处理	田园土	泥炭土	腐殖土	珍珠岩	黄土土
CK	1				
A1		2		1	1
A2			2	1	1
A3			2		1

1.3 数据分析

采用 Excel 2007 软件进行数据整理和作图, 采用 SPSS 18.0 统计分析软件进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 环境因子日变化

由图 1 可知, 在测定时间内, 光合有效辐射 (PAR) 呈单峰曲线变化, 变化范围为 $4.24 \sim$

$33.75 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 早上 8:00 较低, 13:00 时达到最大值 $33.75 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 随后降低; 大气湿度 (RH) 呈“V”型曲线变化, 变化范围 $54.40\% \sim 62.31\%$, 变化趋势与 PAR 相反, 早上 8:00 和下午 17:00 较高, 最低值出现在 13:00 时, 为 54.40% 。在测定时间内, 大气温度 (Ta) 和大气 CO_2 浓度 (Ca) 变化规律相似, 早上 8:00 较低, 随后不断增高, 可能由于覆盖遮阳网, 无风, 到下午 17:00 达到一天中最大值。

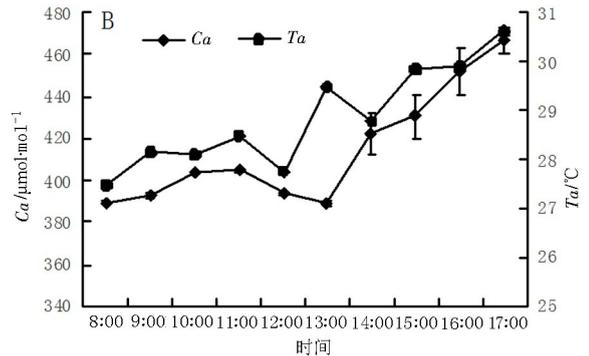
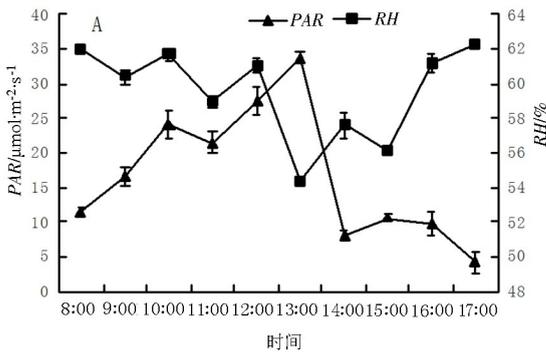


图 1 环境因子日变化

注: 误差值类型为标准误差, 下同。

Fig. 1 The diurnal variation of environmental factors

2.2 光合特征日变化

2.2.1 不同栽培基质荔波唇柱苣苔的净光合速率 (P_n) 日变化

不同栽培基质荔波唇柱苣苔的净光合速率 (P_n) 日变化见图 2。

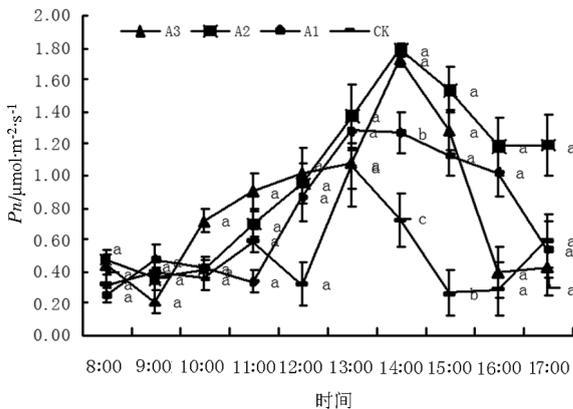


图 2 不同栽培基质荔波唇柱苣苔 P_n 日变化

注: 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

Fig. 2 The diurnal variation of P_n by different substrate composition

由图 2 可知, 不同栽培基质荔波唇柱苣苔 P_n 日变化曲线均呈单峰曲线, 无光合“午休现象”。随着光合有效辐射的增加, P_n 不断增大, A3、A2

的 P_n 峰值出现在 14:00 时, 峰值分别为 1.73 、 $1.79 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 此时不同基质 P_n 差异显著 ($P < 0.05$), 随后随着光合有效辐射的下降, P_n 下降。A1 和 CK 的 P_n 峰值出现在 13:00 时, 峰值分别为 1.28 、 $1.06 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。不同基质日均 P_n 为 A2 (1.00) > A3 (0.82) > A1 (0.76) > CK (0.46)。

2.2.2 不同栽培基质荔波唇柱苣苔的蒸腾速率 (Tr) 日变化

由图 3 可知, 不同栽培基质荔波唇柱苣苔 Tr 日变化曲线均呈双峰曲线。早上 8:00, 随着光合有效辐射的增加, 气温的升高, 不同栽培基质荔波唇柱苣苔 Tr 不断增大, A3 的 Tr 在 12:00 达到第一峰值, 为 $1.13 \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, A2、A1 和 CK 的 Tr 在 13:00 达到第一峰值, 分别为 0.81 、 0.44 、 $0.45 \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。随后由于气温仍升高, A3 和 A2 的 Tr 在 15:00 达到第二峰值, 分别为 0.99 、 $0.85 \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, A1 和 CK 的 Tr 在 16:00 达到第二峰值, 分别为 0.47 、 $0.43 \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。在 8:00 到 13:00, A2 和 A3 的 Tr 显著高于 A1 和 CK。在 12:00、14:00、15:00 时, 不同基质 Tr 差异显著 ($P < 0.05$)。不同基质日均 Tr 为 A3 (0.76) > A2 (0.58) > A1 (0.39) > CK (0.36)。

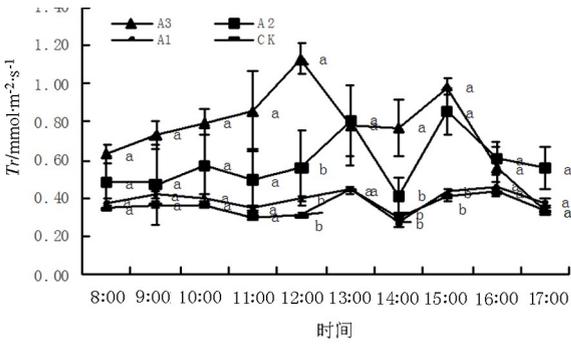


图 3 不同栽培基质荔波唇柱苣苔 T_r 日变化

Fig. 3 The diurnal variation of T_r by different substrate composition

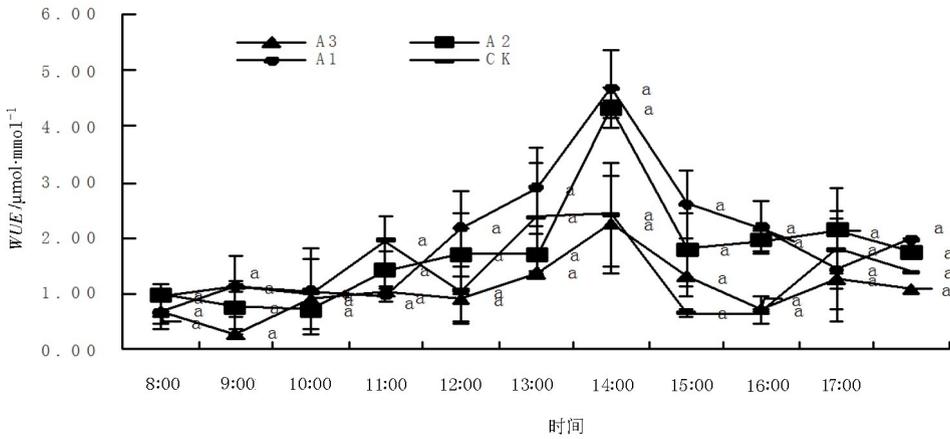


图 4 不同栽培基质荔波唇柱苣苔 WUE 日变化

Fig. 4 The diurnal variation of WUE by different substrate composition

2. 2. 4 不同栽培基质荔波唇柱苣苔气孔导度 (G_s) 和胞间 CO_2 浓度 (C_i) 日变化

由图 5 可知，不同栽培基质荔波唇柱苣苔 G_s 和 C_i 日变化与 T_r 日变化趋势相似，呈双峰曲线。上午，气温逐渐升高，光合有效辐射逐渐增强， G_s 和

2. 2. 3 不同栽培基质荔波唇柱苣苔的水分利用率 (WUE) 日变化

由图 4 可知，不同栽培基质荔波唇柱苣苔的 WUE 日变化差异不显著，均呈单峰曲线。早上 8:00，随着 P_n 和 T_r 增大， WUE 不断增大，不同栽培基质荔波唇柱苣苔的 WUE 最大值都出现在 14:00 时，CK、A1、A2、A3 的 WUE 分别为 2.43、4.68、4.31、2.24 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ ，之后由于 T_r 增大， WUE 呈下降趋势。日均 WUE ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$) 在不同基质中为 A1 (1.98) > A2 (1.75) > CK (1.28) > A3 (1.07)。

C_i 也不断增大，在 12:00—13:00 之间达到第一峰值，与 T_r 相似，之后呈下降趋势，在 15:00—16:00 达到第二峰值。不同栽培基质荔波唇柱苣苔 G_s 日均值表现为 CK > A2 > A3 > A1； C_i 日均值表现为 A2 > A3 > A1 > CK。

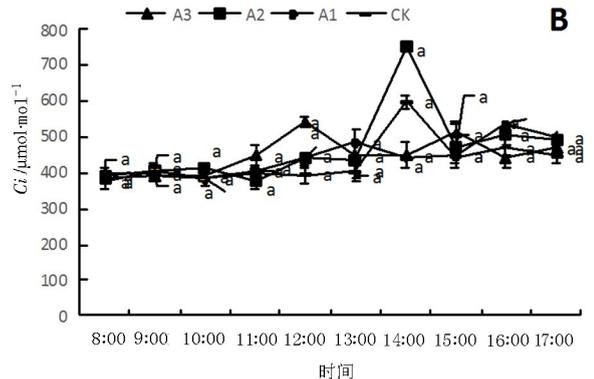
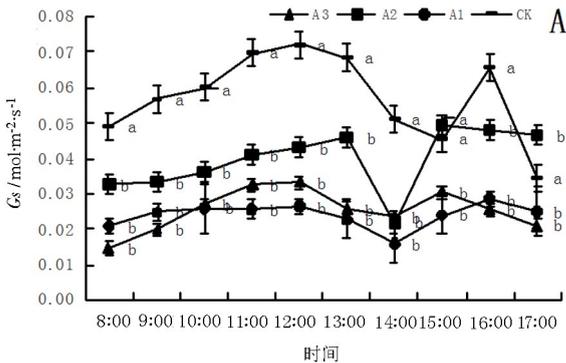


图 5 不同栽培基质荔波唇柱苣苔 G_s 和 C_i 日变化

Fig. 5 The diurnal variation of G_s and C_i by different substrate composition

2.3 不同栽培基质荔波唇柱苣苔光合特性的相关分析

对不同栽培基质荔波唇柱苣苔光合特征的平均值进行相关分析(表2)。由表2可知,各环境因子与CK中 P_n 的相关程度依次为 G_s (0.650) > RH (-0.611) > PAR (0.345) > C_i (0.229) > T_a (0.154) > Ca (-0.125) > Tr (0.120); 各环境因子与A1中 P_n 的相关程度依次为 RH (-0.705) >

C_i (0.615) > T_a (0.486) > G_s (0.378) > Ca (0.199) > Tr (0.07) > PAR (0.068); 各环境因子与A2中 P_n 的相关程度依次为 C_i (0.749) > T_a (0.674) > RH (-0.597) > Ca (0.483) > Tr (0.378) > PAR (-0.260) > G_s (0.043); 各环境因子与A3中 P_n 的相关程度依次为 Tr (0.748) > RH (-0.621) > C_i (0.48) > G_s (0.196) > PAR (0.132) > T_a (0.082) > Ca (-0.080)。

表2 不同栽培基质荔波唇柱苣苔光合特性相关分析

Tab. 2 The correlation analysis of photosynthesis characteristics by different substrate composition

处理	光合参数和环境因子	P_n	Tr	G_s	C_i	PAR	RH	T_a	Ca
CK	P_n	1							
	Tr	0.120	1						
	G_s	0.650*	0.870**	1					
	C_i	0.229	-0.162	-0.298	1				
	PAR	0.345	0.159	0.570	-0.554	1			
	RH	-0.611	-0.449	0.025	-0.221	-0.345	1		
	T_a	0.154	0.359	-0.517	0.466	-0.485	-0.197	1	
	Ca	-0.125	0.107	-0.486	0.504	-0.735*	0.193	0.888**	1
A1	P_n	1							
	Tr	0.07	1						
	G_s	0.378	0.822**	1					
	C_i	0.615	0.352	0.127	1				
	PAR	0.068	0.267	-0.001	-0.225	1			
	RH	-0.705*	-0.065	0.487	-0.206	-0.345	1		
	T_a	0.486	0.192	0.012	0.827**	-0.485	-0.197	1	
	Ca	0.199	0.036	0.091	0.702*	-0.735*	0.193	0.888**	1
A2	P_n	1							
	Tr	0.378	1						
	G_s	0.043	0.739*	1					
	C_i	0.749*	-0.232	-0.436	1				
	PAR	-0.260	0.287	0.081	-0.485	1			
	RH	-0.597	-0.635*	0.001	-0.177	-0.345	1		
	T_a	0.674*	0.431	0.524	0.398	-0.485	-0.197	1	
	Ca	0.483	0.089	0.375	0.425	-0.735*	0.193	0.888**	1
A3	P_n	1							
	Tr	0.748*	1						
	G_s	0.196	0.735*	1					
	C_i	0.480	0.488	-0.807**	1				
	PAR	0.132	0.584	-0.283	0.068	1			
	RH	-0.621	-0.368	-0.006	-0.268	-0.345	1		
	T_a	0.082	-0.425	-0.277	0.402	-0.485	-0.197	1	
	Ca	-0.080	-0.575	-0.212	0.245	-0.735*	0.193	0.888**	1

注: **表示在0.01水平(双侧)上显著相关; *表示在0.05水平(双侧)上显著相关。

3 结论与讨论

光合作用是植物生态系统中最主要的同化过

程,在维持生态系统稳定、平衡大气碳汇中扮演重要角色。它不仅受到物种的影响,也与环境因子紧密相关,能较直观地反馈植物对相关环境因子的适应信息^[9]。影响光合作用的外界条件每天都在

变化,所以叶片光合速率日变化在一天中也不断变化。在自然条件下,植物光合作用日变化呈双峰型或单峰型。植物叶片的光合日变化是植物对特定环境的一种适应结果,随环境变化而变化。本研究结果表明,不同栽培基质荔波唇柱苣苔 P_n 的日变化进程有所不同,A1 和 CK 峰值出现在 13:00 时,A3、A2 峰值出现在 14:00 时,但 4 种栽培基质荔波唇柱苣苔 P_n 日变化均呈单峰曲线,均无光合“午休现象”。本研究与郑月萍等^[10]、邓涛等^[11]对苦苣苔科植物光合特性的研究结果不同,可能是由于本实验中 4 种栽培基质荔波唇柱苣苔种植于遮光条件下且测定时气温低于 30℃。因此,荔波唇柱苣苔光合速率日变化没有出现明显的“午休”现象。也有不少苦苣苔科植物光合日变化与本研究一致。如吕惠珍等^[12]对大根唇柱苣苔 (*Chirita macrorrhiza*)、钟冠唇柱苣苔 (*Chirita swinglei*) 和蚂蝗七 (*Chirita fimbriosepala*) 净光合速率日变化表现为单峰曲线。李莹等^[13]对半蒴苣苔 (*Hemiboea henryi*)、疏脉半蒴苣苔 (*H. cavaleriei* var. *paucineris*) 和红苞半蒴苣苔 (*H. rubibracteata*) 的净光合速率 (P_n) 日变化曲线均呈“单峰型”。

植物的光合作用不仅受自身生理因子的影响,还受外界生态环境因子的影响^[14]。本研究中,不同栽培基质中影响荔波唇柱苣苔叶片 P_n 的生理生态因子不同,CK 的 P_n 与 G_s 呈显著正相关;A1 的 P_n 与 RH 呈显著正相关;A2 的 P_n 与 C_i 、 T_a 呈显著正相关;A3 的 P_n 与 T_r 呈显著正相关,这可能是由于基质不同,影响植物生长速度,从而 P_n 的影响因素也不同。目前,关于植物光合作用与各因子之间的关系,还没有一致观点,姜霞等^[15]研究表明, P_n 与 G_s 呈显著正相关,与 T_r 、 RH 、 PAR 呈正相关关系,但相关性不显著。左应梅等^[16]研究表明, P_n 与 T_r 、 G_s 存在正相关。

光合参数日均值综合反映了植物光合能力的强弱^[17],4 种栽培基质荔波唇柱苣苔的光合日参数日均值不同,说明不同栽培基质中荔波唇柱苣苔对同一环境的适应能力存在不同,这种栽培基质差别在栽培时应加以考虑。植物的水分利用效率大小取决于净光合速率与蒸腾速率,受植物根、茎、叶组织结构的影响,也与光强、大气温度、叶温、湿度、气压、气孔导度以及土壤水分等环境因子密切相关^[18~23]。在基质 A2、A3 中荔波唇柱苣苔的 P_n 和 T_r 日均值最高,但其 WUE 最低,是一种高光

合、高蒸腾、低水分利用率的植物,在这两种基质中应考虑充分的水分供应。在基质 A1 中荔波唇柱苣苔的 P_n 和 T_r 日均值较低,但其 WUE 日均值最高,在该种基质中种植可适量少浇水。

综上所述,本研究中不同基质荔波唇柱苣苔的光合特性存在明显差异,但在基质 A2、A3 中荔波唇柱苣苔光合速率和蒸腾速率都较高, WUE 较低,在栽培过程中考虑充分的水分供应,为其科学保护与利用提供依据。

参考文献:

- [1] 吕惠珍,郭晓云,李莹. 5 种唇柱苣苔属植物光合特性的比较[J]. 江苏农业科学,2015,43(7):189-192.
- [2] 汪松,解焱. 中国物种红色名录:第一卷[M]. 北京:中国高等教育出版社,2005:405-406.
- [3] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,2012:125-131.
- [4] 王强,金则新,郭水良,等. 濒危植物长叶榧的光合生理生态特性[J]. 生态学报,2014,34(22):6460-6470.
- [5] 石松利,王迎春,周红兵,等. 濒危种四合木与其近缘种霸王水分关系参数和光合特性的比较[J]. 生态学报,2012,32(4):159-169.
- [6] 侯娜,田晓瑞,娄丽,等. 荔波唇柱苣苔离体叶片不定芽的诱导及植株再生[J]. 林业科技开发,2015,29(4):67-70.
- [7] 玉屏,王万海,熊志斌,等. 荔波唇柱苣苔种子诱导组织培养和快速繁殖[J]. 农业与技术,2018,38(23):13-15.
- [8] 李从瑞,侯娜,王莲辉. 贵州特有植物荔波唇柱苣苔扦插繁殖技术研究[J]. 种子,2018,37(8):131-133.
- [9] 张习敏,申刚,陈玲. 复羽叶栎树光合作用日变化及光响应特征[J]. 广东农业科学,2015(5):109-114.
- [10] 郑月萍,沈宗根,姜波,等. 4 种苦苣苔科植物光合特性的比较[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版),2012,35(4):446-452.
- [11] 邓涛,莫丹,周太久,等. 菱叶唇柱苣苔光合特性日变化的初步研究[J]. 江苏农业科学,2010,38(4):195-197.
- [12] 吕惠珍,郭晓云,李莹. 5 种唇柱苣苔属植物光合特性的比较[J]. 江苏农业科学,2015,43(7):189-192.
- [13] 李莹,吕惠珍,黄雪彦. 5 种半蒴苣苔属植物光合特性的比较[J]. 植物资源与环境学报,2015,24(2):19-25.
- [14] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology,1982,33(1):317-345.