

DOI: 10.5846/stxb201303270534

吴明开, 刘海, 沈志君, 罗鸣, 吴沿友. 珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性. 生态学报, 2013, 33(18): 5531–5537.

Wu M K, Liu H, Shen Z J, Luo M, Wu Y Y. Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants *Bletilla striata*. Acta Ecologica Sinica 2013, 33(18): 5531–5537.

珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性

吴明开^{1,2}, 刘 海^{1,3}, 沈志君^{1,3}, 罗 鸣^{1,3}, 吴沿友^{2,*}

(1. 贵州省现代中药材研究所, 贵州省农业生物技术重点实验室, 贵阳 550006;

2. 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, 贵阳 550002; 3. 贵州师范大学生命科学学院, 贵阳 550001)

摘要: 以珍稀濒危药用植物白及(*Bletilla striata*) 叶片为研究对象, 应用 Li-6400XT 便携式光合仪分别在晴天和阴天进行光合生理生态特性研究。结果显示晴天 G_s 、 P_n 、 T_r 日变化呈现双峰型, 阴天为单峰型; 光合-蒸腾具有极显著线性正相关关系与良好的线性耦合关系(晴天和阴天的相关系数分别为 0.883**、0.954**, 回归直线斜率分别为 2.38、3.78); $PAR-P_n$ 与 $PAR-T_r$ 、 $TL-P_n$ 与 $TL-T_r$ 、 G_s-P_n 与 G_s-T_r 的回归直线形态非常相似。除晴天 TL 与 P_n 外, 其余两两相关关系均达到了显著水平; PAR 、 TL 和 G_s 三个因子与 P_n 、 T_r 均表现为正相关关系, 其中 G_s 是调控 P_n 与 T_r 的最主要因子。进行聚乙二醇 6000(PEG6000) 渗透胁迫实验以评价白及抗旱能力, 分析不同质量分数 PEG6000(0、5、20、40、60g/L) 下的白及幼苗叶绿素含量、叶片含水量、相对电导率 3 个生理指标, 结果表明叶绿素含量与胁迫浓度呈负相关($R^2 = 0.7854$), 随着 PEG 质量分数的增加, 叶片的叶绿素含量持续显著下降; 叶片含水量与胁迫浓度呈负相关($R^2 = 0.9936$); 相对电导率与胁迫浓度呈正相关($R^2 = 0.8755$), 相对电导率会随着 PEG 质量分数的增加而显著增加。试验结果综合分析显示白及为耐阴植物, 抗旱能力不强。白及进行人工栽培应适当遮阴保持土壤与空气湿度。

关键词: 白及; 光合作用; 蒸腾作用; 干旱胁迫; 生理生态

Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants

Bletilla striata

WU Mingkai^{1,2}, LIU Hai^{1,3}, SHEN Zhijun^{1,3}, LUO Ming^{1,3}, WU Yanyou^{2,*}

1 Modern Chinese Medical Materials Development of Guizhou Province, Key Lab of Agricultural Biotechnology of Guizhou Province, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China

2 State Key laboratory of Environmental Geochemistry Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

3 School of Life Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China

Abstract: The genus *Bletilla*, composting about six species, is endemic to Asia with a distribution pattern from N Myanmar and Indochina through China to Japan. The usage of the plants of *Bletilla*, mainly *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb. f., includes art (Chinese painting and writing), the production of porcelain, and medicine, as well as vegetable dyes for dyeing cloth in some minority people in Guizhou and Yunnan Province, China. Those species are also commonly used as a horticultural subject covering both indoors and out cultivation in North American and European areas. As the traditional herb medicine using more than 1500 years, pseudobulbs of *Bletilla* have been widely used in Eastern Asian countries to treat alimentary canal mucosal damage, ulcer, bleeding, bruises and burns. The pseudobulbs also show antibacterial, anti-inflammatory, antiphlogistic and demulcent properties, and thus use in treating pneumonophthisis, pneumonorrhagia, tuberculosis and haemorrhage of the stomach or lung. Moreover, it is suggested that cationic polysaccharide from *Bletilla striata* can serve as a non-viral nucleotide drug delivery vehicle for oligonucleotide or siRNA targeting to immunology system. Apparently, there is a huge potential demand for the pseudobulbs of *Bletilla* in future. At present, the cultivation of *Bletilla*

基金项目: 贵州省科技支撑计划项目(黔科合 SZ 字[2009]3001); 国家科技支撑计划项目(2009BAI74B02-2); 黔科合院所创能[2010]4002; 黔农科院专项[2007]029 号; 黔科合重大专项字(2008)6022

收稿日期: 2013-03-27; 修订日期: 2013-07-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wuyanyou@mails.gyig.ac.cn

<http://www.ecologica.cn>

is only limited to the temperature areas of North America and Europe for the horticultural purpose, and the using of pseudobulbs of *Bletilla* for other purpose especially for medicinal purpose is basically based on wild resources. Undoubtedly, the wild resource of *Bletilla* will rapidly decrease in Eastern Asian Countries due to over collections as well as habitat destruction and fragmentation. The conflict between the great market demand for the pseudobulbs of *Bletilla* and the decreased wild resource has necessitated the breeding of cultivars for high yields, high concentrations of active components, and high resistance to diseases. Unfortunately, no cultivar has been bred so far and selections of superior individuals meeting the requirements are now underway from field and hybrid progenies. So we strengthened research on ecophysiological characteristics growing development of *Bletilla*. By using a Li-6400XT portable photosynthesis system, this paper studied the ecophysiological characteristics of photosynthesis-transpiration coupling of *Bletilla striata* during daily variation. The results showed that: (1) The diurnal change in photosynthetic active radiation (PAR) and leaf temperature (TL) are similar to each other, peaking around midday; (2) Stomatal conductance (G_s), net photosynthetic rate (P_n) and transpiration rate (Tr) presented a bimodal pattern; (3) P_n shows significant positive linear correlation with Tr (the slopes are 2.38 and 3.78, with correlation coefficients of 0.883** and 0.954** for sunny and cloudy days, respectively) and presented a good linear coupling with photosynthesis-transpiration of *Bletilla striata* during daily variation; (4) The regression lines of $PAR-P_n$ and $PAR-Tr$, $TL-P_n$ and $TL-Tr$, and G_s-P_n and G_s-Tr are similar to each other, while no significant correlation was observed between P_n and TL ; (5) Both P_n and Tr showed a positive dependence on PAR , TL and G_s , with G_s being the main factor affecting P_n and Tr . *Bletilla striata* is a type of shade perennial plant able to flourish in conditions of low light intensity. The response of the physiological and biochemical indexes in *Bletilla striata* seedling leaves was compared under simulated drought stress using different concentrations (0, 5, 20, 40, 60 g/L) of PEG 6000 solution. The result showed that chlorophyll content takes on a negative correlation ($R^2 = 0.7854$) with the increasing PEG concentration, and relative conductivity takes on a positive correlation ($R^2 = 0.8755$) with the increasing PEG concentration. Under osmotic stress, using different concentrations of PEG 6000 solution, the relative water content of *Bletilla striata* showed a lower rate of reduction.

Key Words: *Bletilla striata*; photosynthesis; transpiration; drought stress; physiology ecology

珍稀名贵药材白及药用历史悠久,为兰科植物白及(*Bletilla striata*)干燥块茎,具有止血收敛、消肿生肌之功效^[1-2]。在我国主要分布于长江流域海拔 100—3200 m 山坡林下、路边草丛或石缝中^[3]。近年来由于白及市场价格不断攀升,野生资源被乱采滥挖以及天然生境的破坏,白及野生自然资源濒临灭绝,被国家列为重点保护的野生药用植物之一;目前已开展了白及种质资源、种苗的繁育与组培、化学成分以及药理作用等方面研究,但白及的生理生态特性研究缺乏,白及进行驯化与人工栽培理论支撑不足,以致到现在人工栽培技术尚不成熟^[2,4]。PEG(聚乙二醇)常用于模拟植物干旱胁迫研究,结合光合与蒸腾生理生态特性,可分析环境因素影响植物生长和发育;大量研究表明陆地生态系统碳循环和水循环之间存在耦合关系^[5-10]。本文研究白及光合日变化及其光合-蒸腾日变化耦合生理生态特征,采用 PEG 这种高渗溶液模拟土壤干旱的方法,探讨干旱胁迫对白及生理生态特性的影响,为白及资源保护、引种驯化和人工栽培提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料白及采集于贵州省梵净山,于贵阳市中科院地化所实验室楼顶露天盆栽 1a 以上。

2 方法

2.1 白及叶片光合-蒸腾日变化测定

白及叶片光合-蒸腾日变化采用便携式 Li-6400XT(Li-Cor Inc., USA) 进行测定,选择 3 株生长状况良好成年植株,长势和叶面积较为一致的 3 片叶进行测定,每个叶片重复观测 5 次。观测时间从 8:00 至翌日 8:00,每 2 h 观测 1 次。测定净光合速率(P_n , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、蒸腾速率(Tr , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、叶片表面光合有效辐射(PAR , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、叶片表面温度(TL , $^{\circ}\text{C}$)和气孔导度(G_s , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)等多个微气象和生理参数。日变化测定选择在白及生长旺盛的阶段的 6 月和 7 月,分别在阴天和晴天进行测定,两次测定为同样的白及植株,其中 2011 年 6 月 27 日为阴天,2011 年 7 月 10 日为晴天。

2.2 白及光响应曲线测定

利用 Li-6400 便携式光合作用测定系统对白及进行光响应曲线测定。光照强度梯度设置为 0、20、50、100、120、150、200、

250、300、400、600、800、1000、1200、1500、2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。通过计算求得曲角 (K)、最大净光合速率 (P_{max})、表观量子效率 (AQY)、光呼吸速率 (R_p)、光饱和点 (LSP) 和光补偿点 (LCP) 的值。

2.3 白及叶片生理生态特性测定

将白及第 2 年新生苗移入人工温室中。以霍格兰营养液作为培养机制,用珍珠岩固定。控制温室环境为每天 12h 光照,光照强度为 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,白天温度为 28 $^{\circ}\text{C}$,晚上为 20 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 60%。每天用 1/2 霍格兰营养液 (Hoagland and Arnon 1950) 培养白及幼苗 1 个月,用霍格兰处理液添加 PEG6000 配成浓度分别为 0、5、20、40、60 g/L 模拟 5 种不同渗透胁迫水平,用这 5 种不同的渗透水平同时处理生长一致的幼苗。每 2d 换 1 次处理液,第 16 天测量各项指标。

2.3.1 白及叶片叶绿素含量测定

叶绿素含量的测定采用分光光度法:取新鲜植物叶片 0.1 g 左右,遇到预冷的研钵中,迅速加入液氮及 95% 乙醇进行研磨,定容至 15 mL,转入离心管中,黑暗浸提至叶片全部变白,用 721-A 型紫外分光光度计以 95% 乙醇为空白,在 665 nm 和 649 nm 波长测得吸光值,按下式计算出叶绿素含量的质量浓度:

$$\text{叶绿素 a 含量} \quad C_a = 13.95 A_{665} - 6.88 A_{649}$$

$$\text{叶绿素 b 含量} \quad C_b = 24.96 A_{649} - 7.32 A_{665}$$

两式相加得叶绿素总浓度。再按下式计算出叶片单位鲜重的叶绿素含量。

$$\text{叶绿素含量 (mg/g)} = \text{色素浓度} \times \text{提取液体积} \times \text{稀释倍数} / \text{样品鲜重}$$

2.3.2 白及叶片含水量测定

叶片含水量的测定:剪下叶片后立即称鲜重;将叶片装入洁净的称量瓶,放入烘箱,105 $^{\circ}\text{C}$ 下处理至恒重。重复 3 次。

$$\text{含水量计算公式} \quad RWC(\text{相对含水量}) = (\text{鲜重} - \text{干重}) / \text{鲜重} \times 100\%$$

2.3.3 白及叶片质膜相对透性的测定

质膜相对透性测定用电导仪法测定:取 5 mL 蒸馏水至于 10 mL 中,测电导率 (E_0);取 0.1 g 叶片,放入蒸馏水中,室温放置 3 h,测电导率 (E_1);之后煮沸 10 min,测电导率 (E_2) 3 次重复。

$$\text{相对电导率 } E = (E_1 - E_0) / (E_2 - E_0)$$

3 结果与分析

3.1 白及光合生理生态特性

3.1.1 光合与蒸腾调控因子的日变化

PAR 是光合作用的能量来源, TI 是叶片能量平衡里的感热组分,两者都与太阳辐射有密切关系。在观测从 8:00 到翌日 8:00 (图 1) 晴天 PAR 受太阳高度角变化的影响表现出明显的单峰日变化特征,峰值出现在 12:00,为 1555.81 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$;随后不断降低,20:00 至翌日 4:00, PAR 保持较低值近乎为 0,从 4:00 开始回升, PAR 值在 6:00 时大于上一天 18:00 时的值。阴天 PAR 日变化略呈现双峰型,在 10:00 出现最高值,为 588.32 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,此后下降,到 12:00 时又开始回升,到 14:00 出现次峰,随后不断降低;20:00 至翌日 6:00, PAR 保持较低值接近 0,6:00 开始回升。

晴天叶温 (TI) 与有效光合辐射 (PAR) 日变化一致呈现单峰型,12:00 时最高为 41.8 $^{\circ}\text{C}$,此后开始降低,20:00 至翌日 4:00, TI 保持在 28 $^{\circ}\text{C}$ 左右,6:00 时为全天最低值 24.9 $^{\circ}\text{C}$,随后开始上升。阴天 TI 全天变化不大 (图 2)。

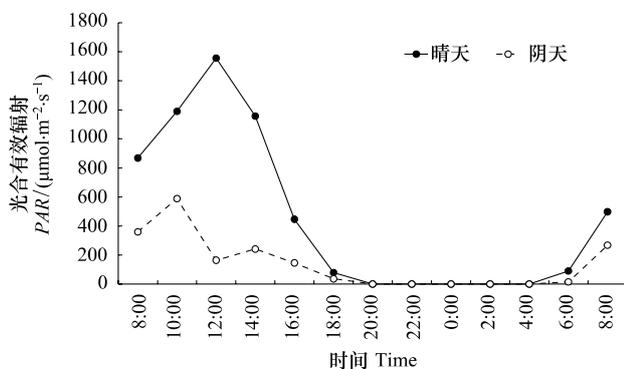


图 1 白及叶片表面光合有效辐射 (PAR) 日变化

Fig. 1 Daily variations of photosynthetic active radiation (PAR), of *Bletilla striata*

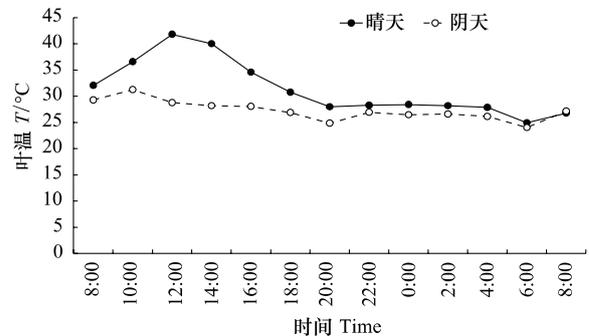


图 2 白及叶片表面温度 (TI) 日变化

Fig. 2 Daily variations of leaf temperature (TI) of *Bletilla striata*

植物的气孔是植物进行 CO_2 和水气交换的主要通道,气孔导度是反映这种交换能力的一个重要生理指标,气孔导度的变

化直接影响光合作用和蒸腾作用^[8]。在晴天白及气孔导度(G_s)日变化呈现双峰型,2个峰值分别出现在8:00和16:00, G_s 值分别为 $0.092 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 和 $0.051 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$;16:00以后 G_s 值开始较快下降,到20:00时 G_s 下降到较低值,一直到翌日4:00, G_s 都保持 $0.004 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 左右的较低值;从4:00以后 G_s 值开始回升。在阴天白及 G_s 日变化呈现单峰型,8:00时 G_s 值较高为 $0.090 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,此后一直下降到20:00时 G_s 较低值为 $0.004 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$;20:00至翌日6:00, G_s 一直保持 $0.004 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 左右较低值,从6:00以后 G_s 值开始回升(图3)。

3.1.2 净光合速率与蒸腾速率的日变化

晴天净光合速率(P_n)呈双峰曲线(图4),有明显“午休”现象, P_n 最大值出现在开始测量的8:00,为 $5.92 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,此后 P_n 值一直降低到14:00,此后随PAR降低、 G_s 的回升, P_n 值也开始回升,在16:00达到第2个峰值为 $3.19 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,此后迅速下降,在20:00降低到全天最低值为 $-1.56 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$;在20:00至翌日4:00, P_n 值都为负值,此后 P_n 值又开始迅速回升,翌日6:00达到 $1.62 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。阴天 P_n 基本呈单峰曲线,其中8:00至10:00,平缓下降, P_n 最大值出现在开始测量的8:00,为 $5.54 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,略低于晴天 P_n 的最大值;10:00至16:00阴天 P_n 值高于其晴天值,全天 P_n 值在22:00最低为 $-0.74 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,在20:00至翌日4:00, P_n 值都为负值,此后 P_n 值开始回升,翌日6:00达到 $0.16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,低于晴天同时段值。

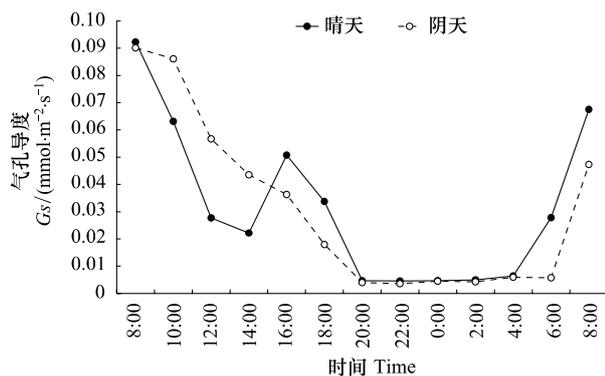


图3 白及叶片气孔导度(G_s)的日变化

Fig. 3 Daily variations of stomatal conductance (G_s) of *Bletilla striata*

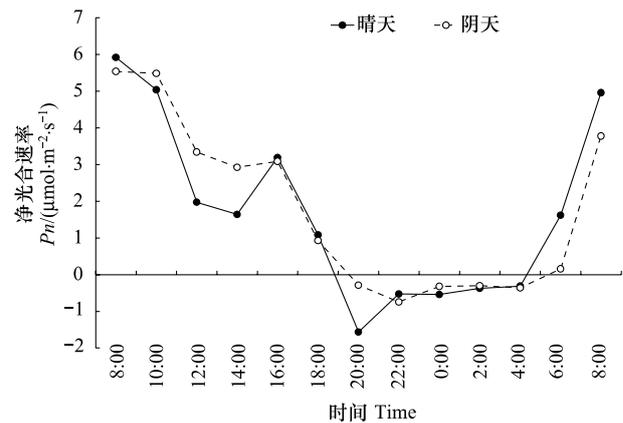


图4 白及叶片净光合速率(P_n)日变化

Fig. 4 Daily variations of photosynthetic rate (P_n) of *Bletilla striata*

晴天蒸腾速率(T_r)基本呈双峰曲线,有“午休”现象,10:00出现第1个峰值为 $2.648 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,随后迅速下降,到14:00达到波谷后开始回升,16:00为第2个峰值,此后 T_r 值迅速下降,20:00出现全天最低值为 $0.116 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,20:00至翌日4:00 T_r 保持较低值,此后又开始回升。阴天 T_r 呈单峰曲线,全天最大值出现在10:00,为 $1.836 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,随后一直下降,到20:00出现全天最低值为 $0.058 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,夜间20:00至翌日6:00 T_r 保持较低值,此后又开始回升(图5)。

3.1.3 光合-蒸腾日变化中的耦合关系特征

白及在晴天和阴天的 P_n - T_r 均呈现极显著的正相关关系(图6),晴天和阴天的相关系数分别为 0.883^{**} 和 0.954^{**} ,回归直线斜率分别为2.38、3.78,这表明在日变化过程中白及叶片光合-蒸腾具有良好的线性耦合关系。但是白及在阴天和晴天的光合-蒸腾耦合关系特征有明显区别,白及在阴天的 P_n - T_r 斜率要明显大于其在晴天的 P_n - T_r 斜率,这反应在阴天白及叶片水分利用效率要高于晴天,这符合珍稀兰科植物白及喜阴湿环境特性。

3.1.4 光合-蒸腾及其调控因子日变化中的关联关系

由图7可以看出,在晴天和阴天的白及叶片光合蒸腾及其环境和生理因子日变化中, PAR - P_n 与 PAR - T_r 、 TL - P_n 与 TL - T_r 、 G_s - P_n 与 G_s - T_r 都具有形态相似的线性正相关关系,除晴天时 TL 与 P_n 未达显著水平以及 PAR 与 P_n 达到显著水平外,其相关关系均达到了极显著水平(表1)。在 PAR 、 TL 和 G_s 以及 P_n 与 T_r 发生较大变化的日变化中, G_s - P_n 与 G_s - T_r 、 PAR - P_n 与 PAR - T_r 、 TL - P_n 与 TL - T_r 之间良好且形态相似的线性关系是维持 P_n - T_r 具有良好耦合作用关系的生理生态学机理^[10]。

PAR 、 TL 和 G_s 这3个因子与 P_n 、 T_r 都表现为正相关关系,但它们的线性回归决定系数(R^2)差异明显,且在阴天时的值均大于晴天时对应值。在 PAR 、 TL 和 G_s 这3个因子与 P_n 的线性回归中, G_s - P_n 的 R^2 值在晴天和阴天都较大;在3个因子与 T_r 的线性回归中,也是 G_s - P_n 的 R^2 值较大,可见 G_s 对 P_n 与 T_r 有显著影响(表1)。

3.2 白及叶片叶绿素含量的变化

叶绿素在光合作用中最重要和最有效的色素,它不仅担负着光能吸收与转化的重要作用,而且在环境的变化过程中通过动态地调节叶绿素之间的比例关系,恰当的分配和耗散光能,保证光合系统的正常运转^[6]。由表2可知,随着PEG浓度的增加,

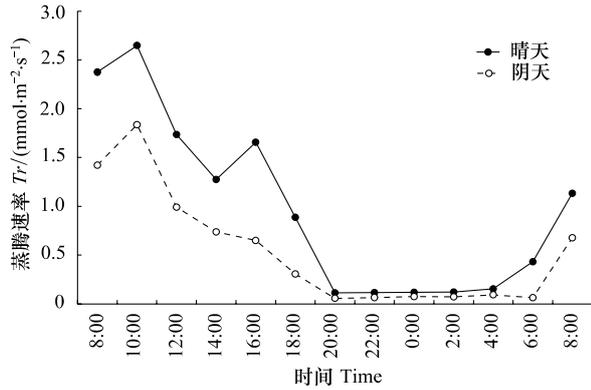


图5 白及叶片蒸腾速率(T_r)的日变化

Fig. 5 Daily variations of transpiration rate (T_r) of *Bletilla striata*

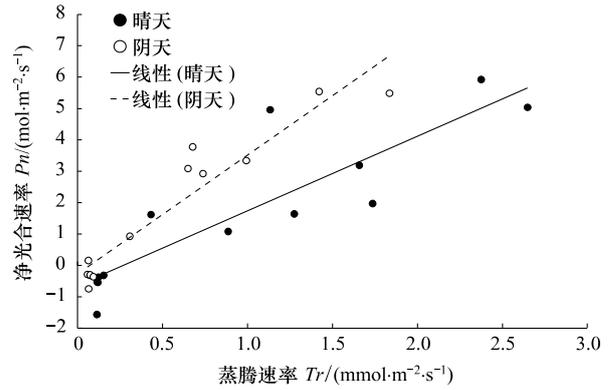


图6 P_n - T_r 的耦合关系

Fig. 6 The linear coupling relationships between P_n and T_r

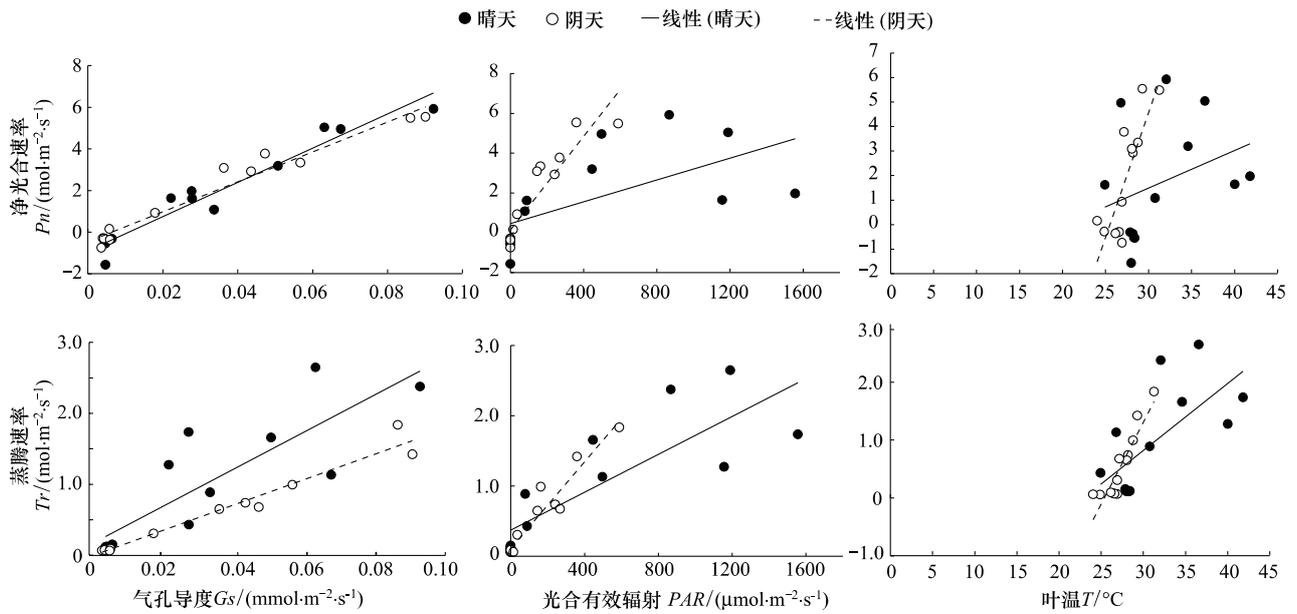


图7 P_n - T_r 的耦合关系

Fig. 7 The linear coupling relationships between P_n and T_r

表1 PAR - P_n 、 PAR - T_r 、 Tl - P_n 、 Tl - T_r 、 G_s - P_n 、 G_s - T_r 的线性拟合方程

Table 1 The linear regression equations of PAR - P_n , PAR - T_r , Tl - P_n , Tl - T_r , G_s - P_n and G_s - T_r

	气孔导度 G_s	光合有效辐射 PAR	叶温 Tl
晴天	P_n $y=82.168x-0.8913$ $R^2=0.9542^{**}$	$y=0.0027x+0.4595$ $R^2=0.3933^*$	$y=0.153x-3.123$ $R^2=0.111$
Ckear	T_r $y=26.599x+0.1425$ $R^2=0.7175^{**}$	$y=0.0013x+0.3722$ $R^2=0.6881^{**}$	$y=0.116x-2.65$ $R^2=0.4577^*$
阴天	P_n $y=71.991x-0.4655$ $R^2=0.9608^{**}$	$y=0.0118x+0.1397$ $R^2=0.8602^{**}$	$y=1.019x-26.01$ $R^2=0.6853^{**}$
Cloudy	T_r $y=18.163x-0.0247$ $R^2=0.9629^{**}$	$y=0.0031x+0.1116$ $R^2=0.926^{**}$	$y=0.282x-7.149$ $R^2=0.8261^{**}$

* 代表达到统计显著水平 $P<0.05$, ** 代表达到统计显著水平 $P<0.01$

白及叶片的叶绿素含量呈现下降趋势,均低于对照,且每个梯度间均存在显著性差异($P<0.05$)。叶绿素含量与胁迫浓度呈负相关($R^2=0.7854$)。叶绿素含量由PEG浓度为0时的2.215 mg/g鲜重对照下降到PEG浓度为60g/L时的1.486 mg/g鲜重,PEG浓度最高时与对照相比叶绿素含量减少了近1/3(32.9%),干旱胁迫对白及光合作用有较大影响,由此可以看出白及抗旱性不强。

3.3 白及叶片含水量的变化

水是植物的血液,其含量一般占鲜重的65%—90%^[8]。如表2中所显示,随着PEG浓度的增加叶片的相对含水量均有所

下降,且均低于对照($P < 0.05$)。叶片含水量与胁迫浓度呈负相关($R^2 = 0.9936$)。在 PEG 浓度分别 5、20、40、60g/L 的渗透胁迫下,白及叶片相对含水量降幅分别为 0.6%、1.4%、2.4%、3.4%,但相对含水量还是保持在 76% 以上,说明白及在干旱胁迫情况下保持水分能力较强,具有一定的抗旱能力。

3.4 相对电导率的变化

耐旱植物的相对电导率变化比不耐旱植物小,因此以植物叶片的相对电导率值可以作为评定植物在干旱胁迫下细胞的相对透性和组织受伤程度的指标^[11]。由表 2 中可以看出,随着 PEG 浓度的增加,叶片的相对电导率也随着胁迫的强度增加而持续上升,且均大于对照($P < 0.05$)。相对电导率与胁迫浓度呈正相关($R^2 = 0.8755$)。白及叶片相对电导率在 PEG 浓度为 60g/L 的渗透胁迫后,比对照相上升了 48.2%,由此可以看出白及的抗旱性不强。

表 2 不同 PEG 浓度白及生理学性状

Table 2 Physiology characteristics of *Bletilla striata* in different concentrations of PEG

PEG 浓度/(g/L) Concentration of PEG	叶绿素含量/(mg/g) Content of Chlorophyll	含水量/% Water Content	相对电导率 Relative Electric Conductivity
0	2.215±0.002a	0.796±0.009a	0.141±0.002a
5	2.118±0.001b	0.791±0.007a	0.172±0.012b
20	1.521±0.002c	0.785±0.007a _b	0.183±0.007b _c
40	1.486±0.001d	0.777±0.020a _b	0.199±0.002c
60	1.346±0.001e	0.769±0.009b	0.209±0.017c

数据为平均值±标准差;同一列不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

3.5 光响应曲线比较

图 8 为白及的光响应曲线,光响应曲线(P - PAR 响应曲线)反映了植物净光合速率随光。光照强度的变化规律通过 SPSS 进行非线性拟合计算,算得曲角(K)为 0.95,最大净光合速率(P_{max})为 $4.86 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,表观量子效率(AQY)为 $0.047 \text{ molCO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ photon}$,光呼吸速率(R_p)为 $0.31 \mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,光饱和点(LSP)为 $252 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 和光补偿点(LCP)为 $8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。白及的光补偿点较低,光饱和点也很低,表明白及具有很强的耐荫能力,只能适应较弱的阳光照射,对光适应的生态幅较窄,属于阴生植物。

3 讨论

本研究是选取移栽于较为适宜生长环境中的白及健康叶片,在露天下进行光合生态指标测定。在 24h 日变化过程中,8:00 晴天 PAR 值为 $868.24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,而阴天为 $359.39 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,此时晴天比阴天的 P_n 值大;此后一直到 16:00 晴天比阴天的 P_n 值小,而这段时间晴天 PAR 值为 445.00 — $1555.81 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,阴天 PAR 值为 145.24 — $588.32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$;同时这段时间基本上也是晴天比阴天的 G_s 值小。在 16:00—18:00 晴天和阴天的 PAR 值都在 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 左右,其 P_n 值基本一致。在 18:00 至翌日 6:00 PAR 值都极低,晴天和阴天的 P_n 值都为负值,且晴天 P_n 值更低,说明晴天呼吸消耗多。翌日 6:00 晴天 PAR 值为 $89.39 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, P_n 值回升到上一天 14:00 的水平;而此时阴天 PAR 值为 $15.26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, P_n 值仅仅回升到 0 以上。

植物的光合能力是在特定标准条件下所测得的一个量,是用来表征不同植物或者作物品种的重要生理指标,植物的光合能力应该是植物在某一特定环境条件下以及特定的发育时期生理状况的综合体现,它的形成受到所处环境的影响^[12]。光合特征测定结果显示白及为阴生植物,这与白及长期生存于林缘草丛阴湿环境相符,由此白及进行人工栽培应注意适度遮阴。

在日变化过程中,虽然 PAR 、 T_l 和 G_s 的变化会引起 P_n 和 T_r 发生较大的变化,但是 G_s 和 PAR 对 $An-T_r$ 的同方向调控作用使得 P_n 和 T_r 的变化方向和形态较为一致,因此 P_n 和 T_r 表现出较为稳定的线性耦合关系,这就是光合蒸腾日变化耦合关系形成的基本机理机制^[10]。

植物的光合作用是一个对生态因子敏感的复杂生理过程,生态因子不仅直接影响光合作用,而且还通过影响植物的生理因子进而影响光合作用,各种因子间有着错综复杂的关系,植物生长是对于各环境因子综合作用的反映^[13]。气孔导度(G_s)即气孔阻力的倒数,与气孔开闭相一致, CO_2 吸收和水分的散失都是通过气孔完成的,气孔通过张开和关闭实现其调控。白及叶片

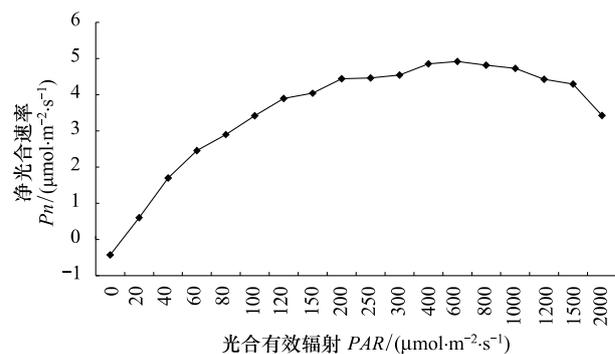


图 8 白及光响应曲线

Fig. 8 Light response curve of *Bletilla striata*

净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)与各因素的相关分析表明,无论晴天还是阴天,气孔导度(G_s)与净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)的相关系数均较大,其次为叶温(T_l),说明生态因子通过影响白芨的生理因子进而影响白芨光合作用。

References:

- [1] National Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia of People's Republic of China (I). Beijing: Chinese Medical Science and Technology Press, 2010.
- [2] Li R, Wang Z Z. Research survey and countermeasure on resources utilization in stem tuber of *Bletilla striata*. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2006, 37(11): 1751-1755.
- [3] Chen X Q, Ji Z H, Lang K Y, Zhu G H. Flora of China (18). Beijing: Science Press, 1999.
- [4] Lu J B, Liu Y H, Yang Y H, Sun L L, Xia X, Zhou M, Huang C Q. The analysis of bletilla rhb. f. research development review from Literatures in China. Journal of Yunnan Agricultural University, 2011, 26(2): 288-292.
- [5] Chen S F, Xu Q Y. Biological mechanism of and genetic engineering for drought stress tolerance in plants. Chinese Bulletin of Botany, 1999, 16(5): 555-560.
- [6] An Y Y, Liang Z S, Han R L, Liu G B. Effect of soil drought on seedling growth and water metabolism of three tree species in Loess Plateau. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007, 27(1): 91-97.
- [7] Berry J A, Beerling D J, Franks P J. Stomata: key players in the earth system, past and present. Current Opinion in Plant Biology, 2010, 13(3): 233-240.
- [8] Yu G R, Wang Q F. Ecophysiology of Plant Photosynthesis, Transpiration, and Water Use. Beijing: Science Press, 2010.
- [9] Gao L, Yang J, Liu R X. Effects of soil moisture levels on photosynthesis, transpiration, and moisture use efficiency of female and male plants of *Hippophae rhamnoides* ssp. *Sinensis*. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 6025-6034.
- [10] Zhao F H, Wang Q F, Wang J L, Wang J S, Ouyang Z, Yu G R. Photosynthesis-transpiration coupling mechanism of wheat and maize during daily variation. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(24): 7526-7532.
- [11] Zhang X H, Zhang E H. Diurnal dynamics of photosynthetic parameters in leaves of *Angelica sinensis* and its relation to environmental factors. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2008, 28(11): 2314-2319.
- [12] Zhao L, Lang N J, Wen S L, Zheng K. A study on drought resistance mechanism of four kinds of plants in dry and hot valley of Yunnan Province. Journal of West China Forestry Science, 2006, 35(2): 9-16.
- [13] Liu Y D, Chen J, Zhang L J, Cao T. Photosynthetic characteristics of two plagiomnium mosses in summer and winter. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(1): 39-42.

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部). 北京: 中国医药科技出版社, 2010.
- [2] 李嵘, 王拮之. 白芨的研究概述及其资源利用对策. 中草药, 2006, 37(11): 1751-1755.
- [3] 陈心启, 吉占和, 郎楷永, 朱光华. 中国植物志(18卷). 北京: 科学出版社, 1999.
- [4] 陆峻波, 刘亚辉, 杨永红, 孙乐乐, 夏翔, 周敏, 黄春球. 从文献分析看我国白芨研究进展. 云南农业大学学报, 2011, 26(2): 288-292.
- [5] 陈善福, 舒庆尧. 植物耐旱胁迫的生物学机理及其基因工程研究进展. 植物学通报, 1999, 16(5): 555-560.
- [8] 于贵瑞, 王秋凤. 植物光合、蒸腾与水分利用的生理生态学. 北京: 科学出版社, 2010.
- [9] 高丽, 杨劫, 刘瑞香. 不同土壤水分条件下中国沙棘雌雄株光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征. 生态学报, 2009, 29(11): 6025-6034.
- [10] 赵风华, 王秋凤, 王建林, 王吉顺, 欧阳竹, 于贵瑞. 小麦和玉米叶片光合-蒸腾日变化耦合机理. 生态学报, 2011, 31(24): 7526-7532.
- [11] 张新慧, 张恩和. 当归叶片光合参数日变化及其与环境因子的关系. 西北植物学报, 2008, 28(11): 2314-2319.
- [12] 赵琳, 郎南军, 温绍龙, 郑科. 云南干热河谷4种植物抗旱机理的研究. 西部林业科学, 2006, 35(2): 9-16.
- [13] 刘应迪, 陈军, 张丽娟, 曹同. 两种匍灯藓属植物夏季和冬季光合特性的比较研究. 应用生态学报, 2001, 12(1): 39-42.