

柽柳叶片光合速率日变化特征的研究

李怡, 刘发民, 宋耀选, 李毅

(1. 甘肃农业大学林学院, 甘肃兰州 730070; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃兰州 730000)

摘要 [目的] 揭示典型天气下柽柳叶片光合特性的日变化规律。[方法] 采用 GSF-3000 光合分析仪, 对人工栽植自然条件下生长的 5 年生柽柳的光合作用日变化进行观察, 并研究了生态因子与光合作用的关系。[结果] 在典型晴天条件下, 柽柳光合速率(A) 日变化呈单峰曲线, 12:30 左右达到最大值, 约为 $6.043 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 柽柳蒸腾速率(E) 的日变化为双峰曲线, 最大值分别出现在 12:30 和 15:30, 分别为 6.236 和 $5.954 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。应用相关分析和逐步多元回归分析方法建立了柽柳光合速率和蒸腾速率与大气 CO_2 浓度、胞间 CO_2 浓度、水汽压、水汽压亏缺等 9 项影响因子的回归方程, 其相关系数分别为 0.990、0.998。[结论] 柽柳叶片的光合作用和蒸腾作用表现出不同的变化特征。

关键词 柽柳; 光合速率; 蒸腾速率; 日变化; 相关分析; 逐步多元回归分析

中图分类号 S718.43 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)18-07559-02

Study on the Daily Variations of Photosynthesis Rate in Leaves of *Tamarix ramosissima*

LI Yi et al. (College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract [Objective] The purpose was to reveal the daily variation law of photosynthesis character of *Tamarix ramosissima* under typical weather conditions. [Method] GSF-3000 photosynthesis analyzer was used to observe the daily variation of photosynthesis of 5-year-old *T. ramosissima* grown under natural conditions of artificial plantation and study the relationship between the ecological factors and photosynthesis. [Result] In the typical sunny days, the curve of daily variation of net photosynthetic rate was single-peak curve and its peak occurred at 12:30 a.m., with the maximum value of $6.043 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. The curve of daily variation of transpiration rate was double-peaks and the peak appeared at 12:30 and 15:30, with the maximum values of 6.236 and $5.954 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, resp. By using the methods of correlation analysis and stepwise multi-regress analysis, the regress equation among the photosynthetic rate and transpiration rate with 9 environmental influencing factors such as atmosphere CO_2 concn., intercellular CO_2 concn., water air pressure and deficit of water air pressure was constructed, with their correlation coefficients being 0.990 and 0.998, resp. [Conclusion] Photosynthesis rate and transpiration rate of *T. ramosissima* leaves showed different variations character.

Key words *Tamarix ramosissima*; Photosynthesis rate; Transpiration rate; Daily variation; Correlation analysis; Stepwise multi-regress analysis

柽柳 (*Tamarix ramosissima*) 为柽柳属多年生落叶灌木^[1], 多生于荒漠或半荒漠地区的盐土或低湿沙区, 是我国三北地区水土保持和固沙造林的重要灌木树种。由于不同树种及同一树种不同品种、甚至同一品种不同地区光合特性各有差异, 有必要在大范围内对柽柳开展多层次、多角度的科学研究。该文对人工栽植自然条件下生长的 5 年生柽柳进行了光合特性的日变化研究, 并应用相关分析和逐步多元回归分析方法研究生态因子与光合作用的关系, 旨在揭示典型天气下柽柳叶片光合特性的日变化规律, 为干旱、半干旱地区进行生态植被建设提供一定的理论依据。

1 材料与方

1.1 试验区概况 试验于 2007 年 7 月中旬在甘肃省皋兰县 (E103°32'~104°14', N36°05'~36°51') 的中国科学院寒区旱区环境与工程研究所皋兰生态农业研究站内进行。该区位于干旱和半干旱的过渡区域, 海拔约 1780 m, 年平均降水量 263 mm, 其中 70% 的降雨是在 5 月和 9 月。年平均气温 8.4°C , 年平均蒸发量 1785 mm。

1.2 试验材料 供试树种为 5 年生柽柳, 2002 年人工栽植, 自然条件下生长。选择树冠中层功能小枝叶作为试材。

1.3 试验方法 采用 GFS-3000 便携式光合分析仪在 2007 年 7 月下旬对柽柳光合速率(A) 进行测试。光合速率(A) 日变化^[2] 测试选在晴朗无风光照充足的 1 d, 时间从 7:30~19:30, 每隔 2 h 测定 1 次, 12:30 加密测定 1 次。在植株中部 3 个方向选取长势相似的叶片, 每个方向重复 3 次。

基金项目 国家科技攻关项目(2004BA901A15); 兰州市“种子资金”项目(04-1-32)。

作者简介 李怡(1982-), 女, 甘肃天水人, 硕士研究生, 研究方向: 荒漠植物的生态生理学。

收稿日期 2008-04-07

对净光合速率(A)、蒸腾速率(E)、气孔导度(GH_2O) 及主要气象因子——光合有效辐射(PAR)、气温(T_a)、叶室相对湿度(RH) 及大气 CO_2 浓度(C_a)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、水汽压亏缺(VPD) 9 项影响因子进行相关分析和回归分析^[2-4]。各测定数均以平均值表示, 利用 SPSS12.0 统计分析软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 环境因子日变化 从图 1a 可以看出, 从 7:30 开始, 大气有效辐射逐渐增大, 在 13:30 左右达到最大值 $1511.913 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 之后逐渐减小, 变化幅度比较大。大气中 CO_2 浓度经过夜间的富集, 在早晨较高, 日出后, 随着植物光合作用的进行, CO_2 浓度逐步降低, 在 11:30~12:30 达到最小, 之后大气中 CO_2 浓度开始回升, 傍晚又达到较高的水平。

随着 PAR 的逐渐增大, 气温逐渐增高, 13:30~15:30 较高, 最高达 31.03°C , 15:30 之后逐渐降低。VPD 反映空气中水汽状况, 也在一定程度上反映影响植物蒸腾作用的水汽压差的变化。VPD 的日变化与 T_a 的日变化规律相似, 最大值出现在 13:30 左右(图 1b)。

2.2 光合速率和蒸腾速率日变化 从图 2a 可以看出, 柽柳的光合速率日变化曲线是单峰型, 12:30 之前光合速率逐渐增强, 12:30 左右达到最大值, 约为 $6.043 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 之后逐渐降低。总的来说, 柽柳的光合作用较弱, 日平均光合速率为 $3.069 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。这是因为在 12:30 之前的光照强度已经能够满足植物光合作用的需要, 而此时, 空气温度尚未达到抑制植物光合作用的程度。

植物蒸腾是植物必不可少的生理过程, 其主要生理作用在于降低植物体温、增加植物水分的吸收和增加无机离子的吸收和运输。蒸腾速率的日变化规律与测定时环境的气温、

相对湿度、光合有效辐射等因素密切相关。蒸腾速率的日变化如图2b所示,为双峰曲线,出现“午休”现象。清晨7:30左右,叶片气孔导度较小,蒸腾作用较弱。随着光照的增强,气温逐渐增大,叶的水汽压差也随之增大,蒸腾速率不断升高。在12:30左右达到第1个峰值,为6.236 mmol/(m²·s);之后,

蒸腾速率不断降低,在13:30左右出现“午休”;此后,蒸腾速率又有所上升,15:30达到第2个峰值,为5.954 mmol/(m²·s);然后,蒸腾速率不断降低。出现“午休”,可能是空气湿度降低引起了气孔关闭,蒸腾速率有所下降。这是植物减少水分散失的一种适应方式。

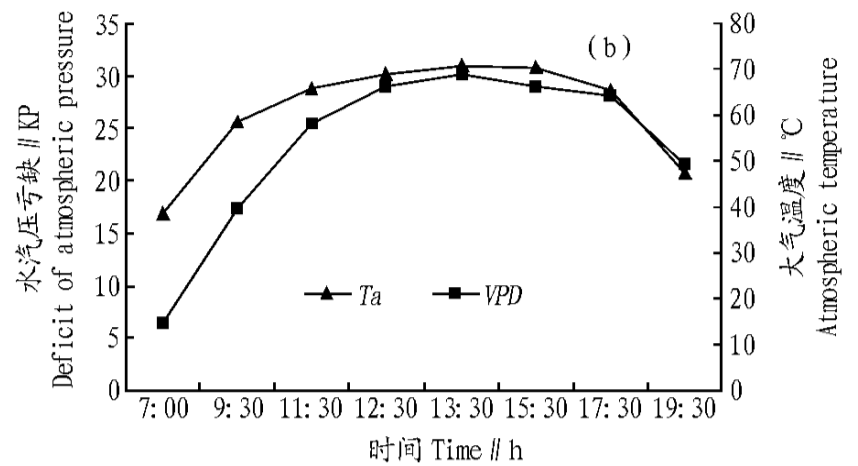
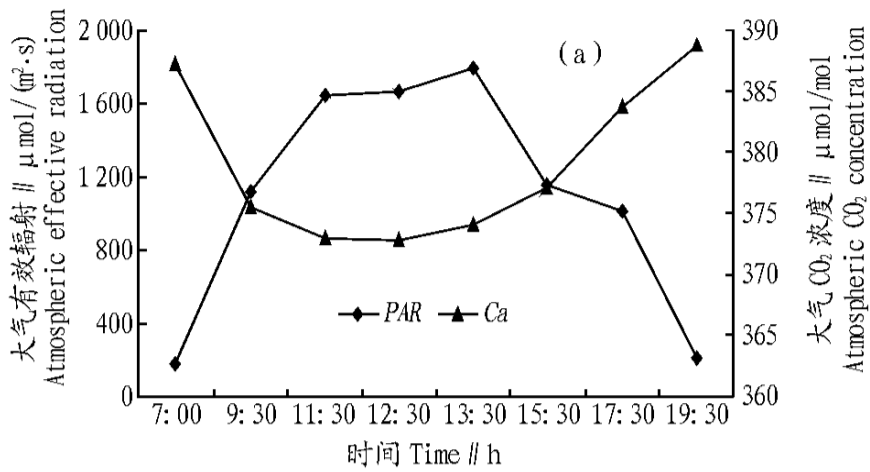


图1 环境因子日变化

Fig.1 The diurnal changes of environmental factors

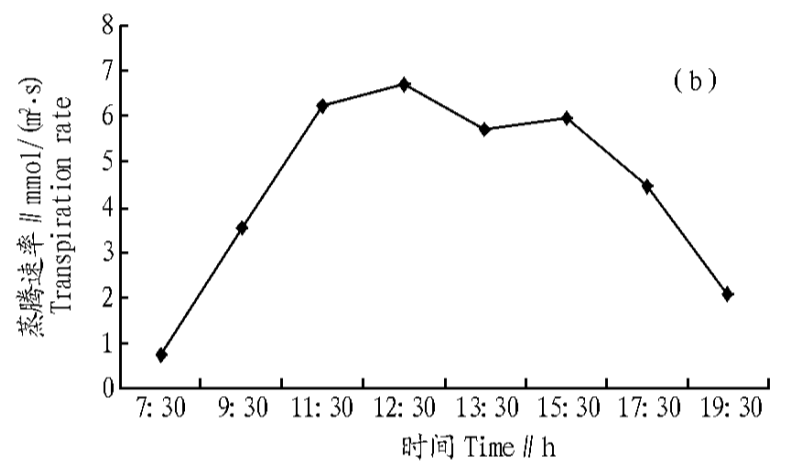
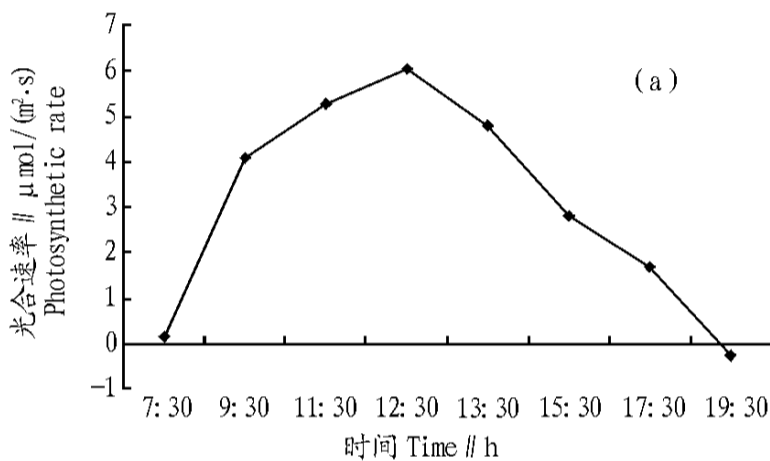


图2 柽柳光合速率和蒸腾速率日变化

Fig.2 The diurnal changes of photosynthetic rate and transpiration rate in *Tamrix ramosissima*

2.3 光合速率及其影响因子的相关分析 将同步测试的9项影响因子测试结果进行相关分析(表1)。从表1的相关矩阵可以看出,柽柳的A与GH₂O、E、PAR、VPD、Ta呈正相关

关系;与RH、G、Ca呈负相关关系。说明当PAR增强时,Ta上升,柽柳的光合速率Pn随之升高,伴随着VPD也有升高的现象。在PAR增强的同时,柽柳Ta和环境因子GH₂O也

表1 柽柳光合速率(A)及其影响因子的相关关系矩阵

Table 1 Correlation matrix between photosynthetic rate of *Tamrix ramosissima* and its influencing factors

影响因子 Influencing factor	Ta	RH	VPD	A	GH ₂ O	G	E	Ca	PAR
		%	KP	μmol/(m ² ·s)	mol/(m ² ·s)	μmol/mol	mmol/(m ² ·s)	μmol/mol	μmol/(m ² ·s)
大气温度 Ta	1								
叶室的相对湿度 RH Relative humidity of leaf chamber	-0.980 83	1							
水汽压亏缺 VPD Deficit of atmospheric pressure	0.991 27	-0.963 02	1						
光合速率 A Photosynthetic rate	0.431 71	-0.330 04	0.415 33	1					
气孔导度 GH ₂ O Stomatal conductance	0.303 24	-0.194 24	0.273 32	0.946 04	1				
胞间CO ₂ 浓度 G Intercellular CO ₂ concentration	-0.719 37	0.633 72	-0.730 48	-0.897 78	-0.754 63	1			
蒸腾速率 E Transpiration rate	0.796 79	-0.704 79	0.798 28	0.860 84	0.774 90	-0.953 53	1		
大气CO ₂ 浓度 Ca Atmospheric CO ₂ concentration	-0.374 94	0.288 50	-0.373 12	-0.961 53	-0.867 14	0.895 74	-0.797 04	1	
大气有效辐射 PAR Atmospheric effective radiation	-0.670 32	0.692 57	-0.643 73	0.257 05	0.233 44	0.002 72	-0.190 99	-0.372 09	1

胶降低了堵塞指数,也就延长了排胶时间。

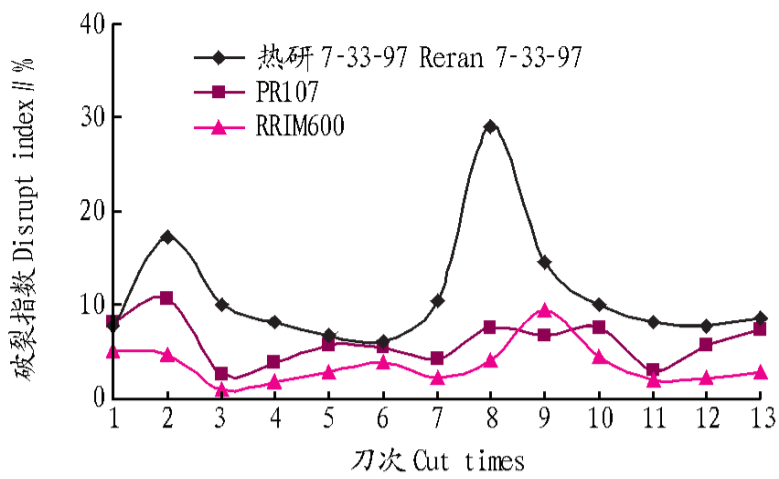


图7 3个品系黄色体破裂指数

Fig.7 Latiod disrupt index of threelines

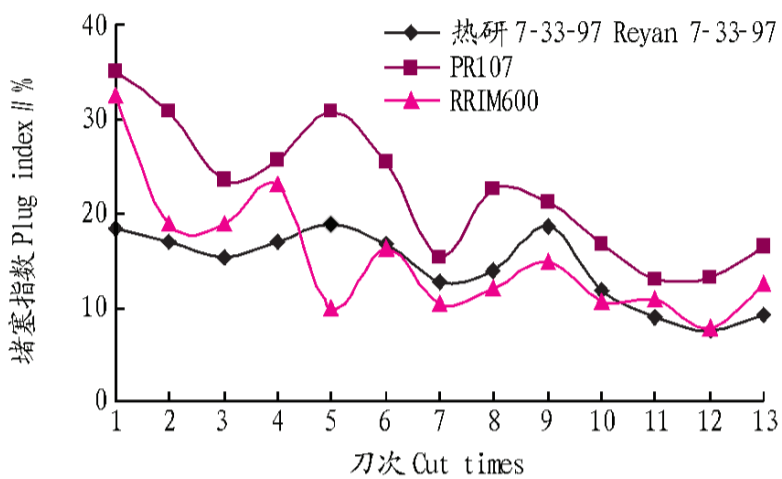


图8 3个品系堵塞指数

Fig.8 Hug index of threelines

3 小结与讨论

(1) 就产胶水平而言,热研7-33-97 胶乳的蔗糖含量高于 RRM600,无机磷含量高于PR107,故产胶潜力介于两者之间,更偏向于PR107,可以适度施加刺激,是一个较耐刺激的品

(上接第7560 页)

随之升高。另外,在桉柳光合作用过程中,当 PAR 增强, P_n 升高的同时, CO_2 作为光合作用的原料被同化和转运,导致桉柳叶(树冠)周围大气 CO_2 浓度出现降低的状况。

2.4 光合速率和蒸腾速率及其影响因子的回归分析 为定量了解生态因子对桉柳叶片光合作用的影响,应用逐步多元回归方法建立模型。对桉柳的 A 和 E 与其影响因子的数据结果进行逐步回归分析,得出桉柳 A 与其影响因子之间的回归方程为:

$$YA = 0.005 \text{ PAR} - 0.322 \text{ Ca} + 0.024 \text{ VPD} + 0.064 \text{ G} + 88.822 \quad (1)$$

其中, A: 蒸腾速率; Ca: 大气 CO_2 浓度; G: 胞间 CO_2 浓度; PAR: 大气有效辐射; VPD: 水汽压亏缺。相关系数 $R = 0.99$, $F = 34.790$, 显著水平 $P < 0.05$ 。

桉柳 E 与其影响因子之间的回归方程为:

$$YE = 0.110 \text{ T}_1 - 0.358 \text{ T}_a + 0.032 \text{ GH}_2\text{O} + 0.001 \text{ PAR} + 0.115 \text{ VPD} + 1.696 \quad (2)$$

其中, E: 蒸腾速率; T_a : 气温; T_1 : 叶温; PAR: 大气有效辐射; GH_2O : 气孔导度; VPD: 水汽压亏缺。相关系数 $R = 0.998$, $F = 62.362$, 显著水平 $P < 0.05$ 。

桉柳的光合模型和蒸腾模型相关性都达到了显著水平 ($P < 0.05$), 表明其具有较强的预测能力。

系;产量也介于两者之间,偏向于 RRM600,是一个高产品系。从排胶方面来看,热研7-33-97 的镁离子含量、堵塞指数均高于其他2个品系,且该品种黄色体容易破裂,所以容易引起乳管堵塞,故可以增加刺激效应,延缓乳管堵塞。另外其干胶含量低,胶乳粘性低,排胶时间较长。由此也可以看出,排胶能力不一定取决于破裂指数和镁离子含量,更决定于胶乳堵塞指数和干胶含量。

(2) PR107 干胶含量高,但是产量低,原因是堵塞指数高,排胶不顺畅。另外,PR107 蔗糖含量最高,无机磷含量低,到一个平稳阶段后有上升趋势,说明其胶乳代谢旺盛,是一个耐刺激的品种,且在该试验基础上,对于其刺激的强度还可以进一步增强。RRM600 硫醇含量低,不耐刺激,在无机磷含量较高的条件下,蔗糖含量最低,此品种产胶潜力较低,对于其不应再增加刺激,或者适当减小乙烯刺激强度。

参考文献

- [1] 张鑫真,吴嘉涟,吴丁颜. PR107、RRM600 连续、全程、递进式割制改革的思考 Q// 农业部农垦局热作处、中国热带作物学会割胶与生理专业委员会. 橡胶树割胶制度改革论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1998:10-14.
- [2] 黄华孙,梁茂寰,吴运通,等. 中规模推广级橡胶树优良品种热研7-33-97 的选育[J]. 热带作物学报,1994,15(2):1-6.
- [3] JACOB J L, 等. 胶树乳管系统功能的胶乳诊断的生理基准[J]. 热带作物译从,1987(3):10-18.
- [4] 谭德冠,姚庆收,张伟算,等. 10 个橡胶树新品种幼龄试割期间生理参数的分析与比较[J]. 热带农业科学,2004,24(1):1-6.
- [5] 莫业勇,杨少琼,黎瑜. 橡胶无性系 PR107 胶乳生理参数的季节性变化[J]. 热带作物学报,1999,20(3):12-15.
- [6] 吴明,罗世巧,校现周. 橡胶树新品种热研7-33-97 旱刺激产量和生理效应研究初报[J]. 云南热作科技,2000,23(3):1-4,12.
- [7] 杨少琼,熊涓涓. 橡胶树乳管系统功能的胶乳诊断——黄色体破裂指数的测定[J]. 热带作物研究,1989(1):68-71.
- [8] 校现周. 橡胶胶乳中 RSH 的生理作用[J]. 热带作物研究,1996(3):5-9.

3 小结与讨论

荒漠植物因其光合碳同化途径不同,表现出明显的光合特征及地理分异^[5-6]。桉柳光合速率(A)日变化呈单峰曲线,12:30 左右达到最大值,约为 $6.043 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;桉柳蒸腾速率(E)的日变化为双峰曲线,最大值分别出现在 12:30 和 15:30,分别为 6.236 和 $5.954 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。植物的蒸腾作用过程及其影响因素与光合作用不同,桉柳叶片的光合作用和蒸腾作用表现出不同的变化特征,说明植物的光合作用主要受其自身的生理代谢作用,而蒸腾作用不仅与植物自身的生理活动有关,而且受环境条件的影响较大^[7]。

参考文献

- [1] 张鹏云,张耀甲. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社,1979:142-143.
- [2] 乌日汗. 额济纳胡杨光合和水分生理特性的研究[D]. 兰州: 西北民族大学,2005.
- [3] 冯金朝,刘新民. 干旱环境与植物的水分关系[M]. 北京: 中国环境科学出版社,1998:54-59.
- [4] 冯金朝,江天然,刘新民,等. C3 和 C4 植物的水分利用效率[J]. 西北植物学报,1997,17(6):27-30.
- [5] VOZN ESEN SKA YA E V, FRANCESCIV R, KIIRA TS O, et al. Karz antony is not esserid for terestrid C4 plat photosynthesis[J]. Nature,2001, 414:543-546.
- [6] WNIER K, SMITH J A C. Grasslucan acid ntabdism[M]. New York: Springer,1996:2-10.
- [7] 冯金朝,周宜君,李国刚,等. 沙漠常绿植物沙冬青气体交换特性的初步研究[J]. 中央民族大学学报: 自然科学版,2001,10(1):38-41.