

# 不同生境条件下人参、西洋参光合作用的日变化

蔚荣海, 赵颖君, 徐克章, 张美善, 张治安, 陈展宇

(吉林农业大学农学院, 吉林 长春 130118)

**摘要:**研究了不同生境条件下人参、西洋参光合特性的日变化. 结果表明, 弱光(10%透光率的荫棚)下人参、西洋参叶片的净光合速率( $P_n$ )呈单峰曲线型变化,  $P_n$ 的最大值在12:00—13:00时, 9:00—11:00时和14:00—16:00时较低; 适宜光强(20%~40%透光率的荫棚)下, 9:00—11:00和12:00—13:00时为人参、西洋参 $P_n$ 的高稳时期, 14:00—16:00时后下降. 强光(50%透光率荫棚)下, 9:00—11:00时 $P_n$ 最大, 14:00—16:00时明显下降. 1 d中人参、西洋参光合日下降率为10%~40%, 弱光下生长的 $P_n$ 较低, 光合日下降率也低, 随着生长期间光强的增加,  $P_n$ 增加, 光合日下降率也增加. 叶片表观量子产额(AQY)以9:00—11:00时最高, 中午略有下降, 14:00—16:00时最低. 栽培于干热地区(长春)的人参和西洋参 $P_n$ 、AQY和气孔导度( $G_s$ )的日下降率和水蒸气压亏缺(VPD)明显高于栽培于温凉多湿吉林省东部山区(辉南县)的人参和西洋参叶片. 2个地区叶片的蒸腾作用( $T_r$ )和水分利用效率(WUE)也有明显差异, 长春地区生长的人参和西洋参9:00—11:00时的 $T_r$ 高于14:00—16:00时; 而辉南地区生长的人参和西洋参叶片1 d中的 $T_r$ 基本一致. 在9:00—11:00时辉南地区的人参和西洋参叶片的WUE高于长春地区, 但在14:00—16:00时, 2个地区叶片的WUE变化并不大. 在干热条件下, 人参和西洋参叶片光合日下降较大, 西洋参较人参具有较强光合能力.

**关键词:**人参; 西洋参; 光合作用; 表观量子产额; 日变化

**中图分类号:**S451.01

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-411X(2009)04-0007-05

## Diurnal Changes of Photosynthesis in *Panax ginseng* and *Panax quinquefolium* Under Different Environmental Conditions

YU Rong-hai, ZHAO Ying-jun, XU Ke-zhang, ZHANG Mei-shan, ZHANG Zhi-an, CHEN Zhan-yu  
(College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**Abstract:** The diurnal changes of photosynthesis in *Panax ginseng* and *P. quinquefolium* under different environmental conditions were studied in this paper. As for leaves grown under low light intensity (10% light transmission rate, LTR shade), diurnal changes of net photosynthetic rate ( $P_n$ ) were showed in single peak, the maximum value of  $P_n$  was at 12:00 am—1:00 pm. As the increase of light intensity (grown under 20%, 30% and 40% LTR shade),  $P_n$  was increased, higher  $P_n$  was measured from 9:00—11:00 am to 12:00 am—1:00 pm, and then  $P_n$  was declined at 2:00—4:00 pm. However, as for leaves grown under high light (50% LTR shade), maximum  $P_n$  were measured at 9:00—11:00 am, then,  $P_n$  was decreased from 12:00 am—1:00 pm. Specific leaf mass (dry mass per unit leaf area) and starch content was increased as the increase of light intensity and  $P_n$ . Daily depression percentage of  $P_n$  was paralleled with daily increase percentage of specific leaf mass and starch content. Maximum apparent quantum yield (AQY) was measured at 9:00—11:00 am, and had slight decline at 12:00 am—1:00 pm, the lowest value was measured at 2:00—4:00 pm. The leaves of *P. ginseng* and *P. quinquefolium* grown in Changchun region (relative higher temperature and lower relative humidity) showed higher water vapor pressure deficit (VPD) and greater daily depression percentage of  $P_n$ , AQY and  $G_s$  than those of

收稿日期:2008-12-10

作者简介:蔚荣海(1965—),男,副教授,博士;通讯作者:徐克章(1954—),男,教授,博士, E-mail: KZX0708@yahoo.com.cn

基金项目:农业部跨越计划项目“特殊农作物品种的选育与配套栽培技术研究”(1997-01-03)

grown in Huinan region (relative lower temperature and higher relative humidity). For the leaves grown under Huinan region,  $T_r$  did not show decline changes at 2:00—4:00 pm; but it showed greater daily depression for those of Changchun region. The leaves grown under Huinan region had higher WUE than these grown in Changchun region at 9:00—11:00 am, and it was nearly same at 2:00—4:00 pm in two regions. The results indicated that *P. quinquefolium* had stronger ability in acclimatization to high temperature and acridness than *P. ginseng*.

**Key words:** *Panax ginseng*; *Panax quinquefolium*; photosynthesis; apparent quantum yield; diurnal changes

叶片光合作用的日变化是分析植物 1 d 中光合生产能力的重要生理基础<sup>[1-2]</sup>. 光合作用日变化既与叶片的内生节律有关<sup>[3-4]</sup>, 也受生态环境的影响<sup>[5-7]</sup>. 对植物光合作用日变化的研究大多以阳生植物为主, 研究阴生植物光合作用日变化的不多. 吉林人参与西洋参均为名贵药材, 两者是典型的多年生草本阴生植物. 光合能力低、生长缓慢是限制其产量和生产的重要因素. 前人<sup>[8-11]</sup>对人参与西洋参的光合特性及其生育期的变化特性做了一些研究. 关于其净光合速率的日变化也有一些研究报道<sup>[12-15]</sup>. 但由于缺少对不同生境条件下及 1 d 中其他光合有关参数的测定, 对两者的光合特性比较还不清楚, 还无法估测其 1 d 中光合生产能力和确切了解两者的生长和栽培条件的差异. 本文通过对不同光照和不同温、湿度条件下人参与西洋参叶片光合特性日变化的比较研究, 为人参与西洋参的栽培实践提供理论依据; 研究了 1 d 中光合作用及相关参数如表观量子产额、气孔导度、蒸腾作用、水分利用效率的日变化及其相互关系, 探讨 1 d 中光合作用的限制因子.

## 1 材料与方法

供试材料为 4 年生吉林人参与西洋参 *Panax ginseng* C. A. Meyer 和西洋参 *Panax quinquefolium* L.. 2003 年分别栽植于吉林省中部的长春地区 (125. 10° E、43. 53° N) 和东部山区辉南县 (126. 41° E、42. 43° N), 2 个栽培地区的气象资料见表 1.

人参与西洋参生长期间的荫棚用枝条做遮荫材料, 根据枝条间隙设置不同透光率的荫棚. 荫棚透光率为荫棚下中部光量子密度与露天下光量子密度的百分比. 用 Li-190S-1 光量子探头测定.

用 Li-6400 型光合测定系统测定叶片的净光合速率 ( $P_n$ )、气孔导度 ( $G_s$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ )、胞间  $CO_2$  浓度 ( $C_i$ ) 和水蒸气压亏缺 (VPD). 选择晴天在荫棚自然光下测定.

光合作用效率, 即表观量子产额 (AQY), 参照 Long 和 Hällgren<sup>[16]</sup> 的方法, 在光合作用严格受光量子密度 (20 ~ 80  $\mu\text{mol}$ ) 限制的条件下, 通过光合增量 ( $\Delta P_n$ ) 与光量子密度增量 ( $\Delta P_{FD} = 60 \mu\text{mol}$ ) 的比值来测定的, 即:  $AQY = \frac{\Delta P_n}{\Delta P_{FD}}$ .

水分利用效率 (WUE) =  $\frac{\overline{P_n}}{\overline{T_r}}$ , 式中  $\overline{P_n}$  和  $\overline{T_r}$  分别为同一叶片净光合速率和蒸腾速率的平均值.

表 1 辉南和长春地区近年来的气象资料

Tab. 1 Climate conditions in Huinan and Changchun in recent years

地区	$\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 /°C	降雨量 /mm	湿润系数	日辐射/ ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ )
辉南	2 600	800	1.0 ~ 1.4	4 900
长春	3 000	600	0.6 ~ 1.0	4 700

## 2 结果与分析

### 2.1 生长期间光照条件对人参与西洋参叶片光合作用和光合效率的影响

对 5 种不同透光率荫棚下人参与西洋参光合作用 1 d 中 3 个时间段的测定结果 (表 2) 表明, 不同光照条件下光合日变化有明显差异, 弱光 (10% 透光率的荫棚) 下净光合速率 ( $P_n$ ) 以 12:00—13:00 时最高, 9:00—11:00 时和 14:00—16:00 时较低; 适宜光照条件 (20 ~ 40% 透光率的荫棚) 下, 9:00—11:00 时和 12:00—13:00 时为人参与西洋参光合作用的高稳时期; 14:00—16:00 时光合作用呈明显下降变化; 强光 (50% 透光率的荫棚) 下,  $P_n$  以 9:00—11:00 时最高, 14:00—16:00 时明显下降; 从不同光强下  $P_n$  的变化来看, 随着光强的增加, 净光合速率增加, 光合作用的日下降值和日下降百分率也随着光强的增加而增加.

光合效率以 9:00—11:00 时最高, 中午已开始下降, 14:00—16:00 时最低 (表 3). 从上午和下午光

表2 不同透光率荫棚下人参、西洋参叶片光合作用的日变化<sup>1)</sup>

Tab.2 Diurnal changes of photosynthesis in leaves of *Panax ginseng* and *Panax quinquefolium* grown under different light transmission rate shades (2003-07-28, 辉南)

材料	荫棚透光率/%	净光合速率( $P_n$ )/( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )			日下降值/ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	日下降率/%
		9:00—11:00	12:00—13:00	14:00—16:00		
人参	10	1.9 ± 0.21	2.3 ± 0.22	1.6 ± 0.29	0.3	15.8
	20	2.6 ± 0.42	2.5 ± 0.31	2.0 ± 0.30	0.6	23.0
	30	3.3 ± 0.41	3.4 ± 0.41	2.4 ± 0.42	0.9	27.3
	40	3.3 ± 0.34	3.4 ± 0.43	2.3 ± 0.21	1.0	30.3
	50	3.4 ± 0.46	3.1 ± 0.26	2.2 ± 0.33	1.2	35.3
西洋参	10	1.8 ± 0.30	2.4 ± 0.35	1.5 ± 0.33	0.3	16.6
	20	2.9 ± 0.26	3.1 ± 0.22	2.2 ± 0.31	0.7	24.1
	30	3.1 ± 0.37	3.2 ± 0.26	2.5 ± 0.46	0.6	19.4
	40	3.4 ± 0.48	3.4 ± 0.29	2.6 ± 0.39	0.8	27.2
	50	3.4 ± 0.35	3.1 ± 0.41	2.4 ± 0.49	1.0	29.4

1) 日下降值 =  $P_{n(9:00-11:00)} - P_{n(14:00-16:00)}$ ; 日下降率 = 日下降值 /  $P_{n(9:00-11:00)} \times 100\%$

表3 3种光照条件下人参、西洋参光合效率的日变化

Tab.3 Diurnal changes of photosynthetic efficiency grown under three light conditions in leaves of *Panax ginseng* and *Panax quinquefolium*. (20030729, 辉南)

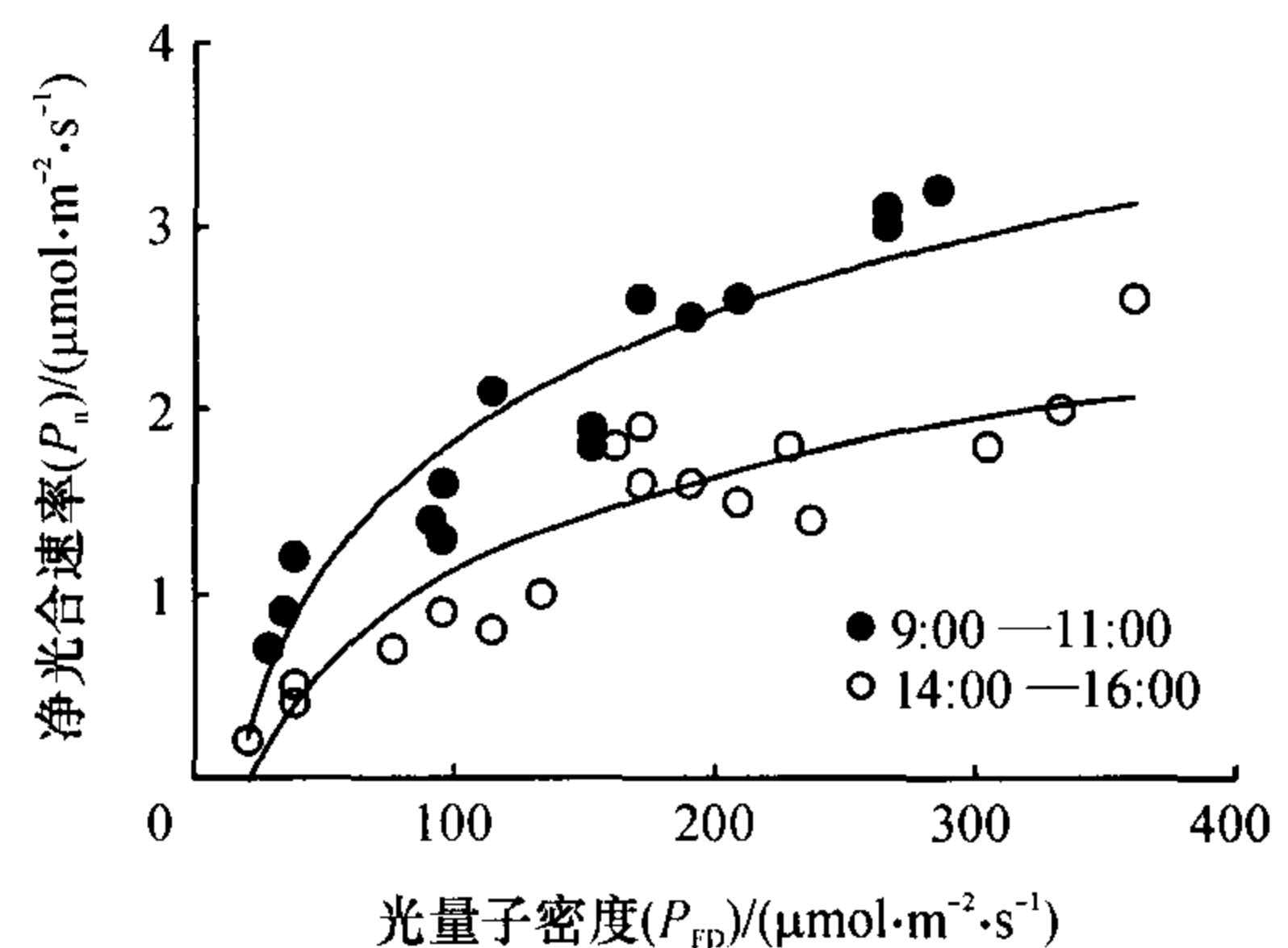
材料	荫棚透 光率/%	光合效率 <sup>1)</sup>			日下降 率/%
		9:00—11:00	12:00—13:00	14:00—16:00	
人参	10	0.041	0.035	0.030	26.8
	30	0.040	0.033	0.026	35.0
	50	0.035	0.029	0.021	40.0
西洋参	10	0.039	0.035	0.028	28.2
	30	0.039	0.033	0.028	28.2
	50	0.033	0.031	0.020	39.4

1) 光合效率用 1 mol 光量子通量产生  $\text{CO}_2$  的量表示, 单位为 mol/mol

合作用对光强相应曲线的变化来看, 在接近同一光照条件下, 上午的光合作用明显高于下午(图1), 进一步证明了上午和下午对光能利用效率的差异。

### 2.2 生长期间的温度、湿度条件对人参、西洋参叶片光合作用日变化的影响

对栽培于昼夜温差大、湿度大的吉林省辉南县和比较干热的长春市人参、西洋参叶片光合作用日变化的测定结果(表4)表明, 9:00—11:00时2个地区净光合速率基本一致, 但在12:00—13:00时, 长春地区生长的人参、西洋参的净光合速率开始下降, 14:00—16:00时, 2个地区叶片净光合速率的差异达到最大。长春地区生长的  $P_n$  和表观量子产额(AQY)的日下降率高于辉南地区生长的。从2个地区叶的水蒸气压亏缺(VPD)来看, 长春地区叶片的



2002年7月29日在自然光下测定, 辉南

图1 人参叶片在9:00—11:00和14:00—16:00时光合作用对光量子密度的响应

Fig.1 Response of photosynthesis to photo flux density in *Panax ginseng* leaves at 9:00—11:00 and 14:00—16:00

VPD显著高于辉南地区( $P \leq 0.01$ ), 说明叶片 VPD可能是造成2个地区光合日下降变化的原因之一。

从表4也可看出, 在长春地区, 西洋参叶片光合作用和AQY的日下降率明显低于人参叶片, 说明在干热条件下西洋参的光合生产能力大于人参。徐克章等<sup>[9,17]</sup>对人参、西洋参光合作用的温度特性的研究也表明, 西洋参光合作用的最适温度明显高于人参。

1 d中叶片气孔导度与  $P_n$  均呈下降变化; 但蒸腾作用在不同地区则有明显差异, 在水分充足、湿度较大的东部山区, 下午的蒸腾作用并没有下降, 1 d中呈平稳变化, 但在干热的长春地区人参、西洋参蒸腾作用则呈明显下降变化(表5)。从人参、西洋参蒸腾速率的比较来看, 人参的蒸腾速率大于西洋参。特别在长春地区人参上午的蒸腾作用( $T_r$ )显著高于西洋参( $P = 0.05$ )。

表4 辉南和长春地区人参和西洋参叶片净光合速率、表观量子产额和水蒸气压亏缺的日变化<sup>1)</sup>Tab.4 Diurnal changes of net photosynthetic rate ( $P_n$ ), apparent quantum yield (AQY) and water vapor pressure deficit (VPD) in leaves of *Panax ginseng* and *Panax quinquefolium* grown in Huinan and Changchun

种植地区	材料	净光合速率( $P_n$ )/( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )				表观量子产额(AQY)				水蒸气压亏缺(VPD)/kPa			
		9:00—11:00	12:00—13:00	14:00—16:00	变化率/%	9:00—11:00	12:00—13:00	14:00—16:00	变化率/%	9:00—11:00	12:00—13:00	14:00—16:00	变化率/%
辉南	人参	3.3	3.3	2.4	-27.3	0.038	0.033	0.028	-26.5	2.3	2.4	2.7	14.8
	西洋参	3.4	3.5	2.5	-26.5	0.036	0.030	0.026	-27.8	2.3	2.3	2.6	13.1
长春	人参	3.2	2.7	1.9	-40.1	0.033	0.028	0.019	-38.7	2.8	3.0	3.1	10.7
	西洋参	3.3	3.0	2.4	-27.3	0.035	0.031	0.024	-31.4	2.8	2.8	3.0	7.1

1) 变化率 =  $\frac{14:00-16:00 \text{ 的值} - 9:00-11:00 \text{ 的值}}{9:00-11:00 \text{ 的值}} \times 100\%$ ; 表观量子产额用 1 mol 光量子通量产生  $\text{CO}_2$  的量表示, 单位为 mol/mol

表5 辉南和长春地区人参和西洋参叶片气孔导度、蒸腾作用和水分利用率的日变化<sup>1)</sup>Tab.5 Diurnal changes of stomatal conductance, transpiration rate and water usage efficiency in leaves of *Panax ginseng* and *Panax quinquefolium* grown at Huinan and Changchun

种植地区	材料	叶片气孔导度/( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )				蒸腾速率/( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )				水分利用效率/( $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ )			
		9:00—11:00	12:00—13:00	14:00—16:00	变化率/%	9:00—11:00	12:00—13:00	14:00—16:00	变化率/%	9:00—11:00	12:00—13:00	14:00—16:00	变化率/%
辉南	人参	80.3	77.0	55.9	-30.4	1.3	1.4	1.5	2.54	2.36	1.60	-37.0	
	西洋参	71.9	64.7	57.5	-20.0	1.2	1.3	1.2	2.83	2.69	2.08	-37.9	
长春	人参	80.3	69.2	42.1	-47.6	1.8	1.3	1.1	1.78	2.08	1.72	-3.3	
	西洋参	79.1	69.2	49.7	-37.2	1.5	1.4	1.2	2.20	2.14	2.00	-9.1	

1) 辉南:2003-07-09, 长春:2003-07-12; 变化率 =  $\frac{14:00-16:00 \text{ 的值} - 9:00-11:00 \text{ 的值}}{9:00-11:00 \text{ 的值}} \times 100\%$

从水分利用效率(WUE)的变化(表5)来看,在辉南地区种植的人参、西洋参上午的水分利用效率最高,并表现明显的日下降变化;而在长春地区的人参、西洋参上午的WUE低于辉南的人参、西洋参,但1 d中WUE的变化并不大.2个地区下午叶片的WUE基本一致.

### 3 讨论

#### 3.1 光照条件与人参、西洋参的净光合速率日变化

弱光(10%透光率的荫棚)下,光是光合作用的限制因子,1 d中净光合速率( $P_n$ )随光强的变化而变化,12:00—13:00时荫棚下光强最大,光合速率( $P_n$ )最高,呈单峰曲线变化.这与 Boardman<sup>[18]</sup>关于阴生植物光合日变化主要取决于冠层下的光照条件的研究结果基本一致;随着光照条件的改善(20%~40%透光率的荫棚),上午光合速率增加,形成了9:00—11:00时和12:00—13:00时的高稳时期.强光(50%透光率的荫棚)下, $P_n$ 在12:00—13:00时就开始下降.关于光合日下降的原因,对许多阳生植物的研究表明,光合产物的积累是造成光合日下降的主要原因<sup>[19-21]</sup>.陈展宇等<sup>[15]</sup>通过改变人参植株的源库关系研究光合日变化也表明,人参光合日下降与光合产物的积累与消耗有关.

#### 3.2 温、湿度条件与光合日变化

叶片水分失衡,水蒸气压亏缺(VPD)增大,是导致植物光合午休和下午降低的重要生态因子<sup>[3,5,7]</sup>.本文研究结果也表明,干热的长春地区人参、西洋参1 d中的蒸腾作用和VPD高于辉南地区的人参、西洋参,叶片水分失衡可能是导致长春地区人参、西洋参叶片光合日下降明显大于温凉多湿的辉南地区的人参、西洋参的原因.从人参、西洋参的比较来看,长春地区西洋参的光合日下降明显低于人参,说明西洋参比人参具有较强的耐高温和抗旱能力.

不同生境条件下,人参、西洋参的蒸腾作用与光合作用和气孔导度的关系也有差异,在比较干热的长春地区,蒸腾作用随 $P_n$ 和 $G_s$ 的下降而下降.这与大多数阳生植物的研究结果一致<sup>[2-3]</sup>.但在辉南地区, $T_r$ 并没有随着 $P_n$ 和 $G_s$ 的下降而下降,而是呈持续稳定状态,有时还随着下午温度的升高呈略有上升的变化.这可能与阴生植物叶片角质层蒸腾较大有关<sup>[22]</sup>.可见,由于人参、西洋参的阴生特性,叶片非气孔控制的角质层蒸腾可能是造成植株水分亏缺,叶片水分利用效率下降的主要原因.

本文对阴生植物人参WUE的研究表明,在水分状况良好的东部山区,上午WUE较高,但下午呈明显下降变化;在比较干热的长春地区,上午的WUE

低于东部山区的,但下午的 WUE 下降较小,仍保持较高的 WUE,与东部山区的 WUE 基本一致.这一方面说明保证适宜的水分供应可提高叶片的  $P_n$  和 WUE;另一方面,在水分亏缺条件下,由于气孔的调节作用,通过降低蒸腾作用限制水分消耗,可保证光合作用的有效进行<sup>[22]</sup>.

人参、西洋参叶片光合作用受多种因素的影响,生长期间的光照条件不仅影响瞬时光合作用,同时也影响光合的日变化特性,这为确定生长期间的光照条件有一定参考价值.在比较干热的长春地区西洋参的光合日变化下降明显低于人参.王纪华等<sup>[11]</sup>对人参、西洋参光合作用的比较研究表明,西洋参的抗干旱能力强于人参.任跃英<sup>[23]</sup>对人参叶片和西洋参叶片的比较研究表明,西洋参叶片的角质层较厚,单位叶面积气孔数目多.西洋参叶片的这些特征有利于限制非气孔蒸腾,减少水分消耗.本文的结果进一步证明,在长春地区,西洋参的蒸腾速率上午低于人参,而下午下降较小,说明西洋参在干热条件下对水分的控制能力和光合生产能力优于人参.

#### 参考文献:

- [1] LONG S P, HUMPHRIES S, FOLKWSKI D G. Photoinhibition of photosynthesis in nature[J]. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1994, 45: 633-662.
- [2] 余华, ONG B L. 马占相思的日光合作用和日碳固定总量研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(5): 624-630.
- [3] 高辉远, 邹琦, 程炳嵩. 大豆光合日变化与内生节律的关系[J]. 植物生理学通讯, 1992, 28(4): 262-264.
- [4] 邓仲簏. 水稻光合日变化与内生节律的关系[J]. 中国水稻科学, 1994, 8(1): 9-14.
- [5] RASCHKE K, RESEMANN A. The midday depression in  $CO_2$  assimilation in leaves of *Arbatus unedo* L.: Diurnal changes in photosynthetic capacity related to changes in temperature and humidity[J]. Planta, 1986, 168: 546-558.
- [6] MOHOTTI A J, LAWLORE D W. Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea; Effects of irradiance and nitrogen supply during growth in the field[J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53(367): 313-322.
- [7] 郑国生, 邹琦. 不同天气条件下田间大豆光合作用日变化的研究[J]. 中国农业科学, 1993, 26(1): 44-50.
- [8] PARK H. Physiological response of *Panax ginseng* to light [C] // [Anon]: Proceeding of the 3rd international ginseng symposium. Seoul, South Korea: [s. n.], 1980: 151-157.
- [9] 徐克章, 曹正菊, 张为群, 等. 人参叶片光合作用特性的研究[J]. 中国农业科学, 1990, 23(6): 69-74.
- [10] 徐克章, 张美善, 武志海, 等. 人参不同生育期叶片光合作用变化的研究[J]. 作物学报, 2006, 32(10): 1519-1524.
- [11] 王纪华, 王铁生, 赵冬梅, 等. 不同光温条件及水分胁迫对人参西洋参光合速率的影响[J]. 特产研究, 1992(2): 1-4.
- [12] 徐克章, 曹正菊, 陈星. 人参叶片光合作用和气孔开闭日变化的研究[J]. 植物生理学通讯, 1987, 23(3): 35-36.
- [13] 徐克章, 张美善. 恒定条件下西洋参叶片光合作用日变化的研究[J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25(2): 134-138.
- [14] 于国华, 苘辉民, 罗文熹. 不同光照强度对西洋参光合特性营养成分和产量的影响[J]. 应用生态学报, 1994, 5(1): 57-61.
- [15] 陈展宇, 张治安, 崔喜艳, 等. 改变源-库关系对人参叶片光合日变化的影响[J]. 南京农业大学学报, 2006, 29(1): 27-30.
- [16] LONG S P, HALLGREN J E. Measurement of  $CO_2$  assimilation by plant in the field and the laboratory [M] // Hall D. Photosynthesis and production in a changing environment. London: Chapman&Hall, 1993: 129-159.
- [17] 徐克章, 武志海, 张美善, 等. 人参西洋参叶片光合作用的温度特性[J]. 吉林农业大学学报, 2002, 24(3): 7-10
- [18] BOARDMAN M K. Comparative photosynthesis of sun and shade plant [J]. Annu Rev Plant Physiol, 1977, 28: 35-377.
- [19] 余彦波, 刘桐华. 植物光效率生态学研究: I. 小麦午休的原因[J]. 生态学报, 1985, 5(4): 336-341.
- [20] FOYER C H. Feedback inhibition of photosynthesis through source-sink regulation in leaves[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 1988, 26: 483-492.
- [21] 廖建雄, 王根轩. 谷子叶片光合速率日变化及水分利用效率[J]. 植物生理学报, 1999, 25(4): 362-368.
- [22] LARCHER W. 植物生态生理学 [M]. 李博译. 北京: 科学出版社, 1980: 192-194.
- [23] 任跃英. 红果人参与西洋参的比较研究 [D]. 吉林农业大学农学院, 2002.

【责任编辑 周志红】