

## 薏苡拔节期光合作用日变化特征研究

舒志明<sup>1</sup>, 梁宗锁<sup>1,2</sup>, 孙群<sup>1</sup>, 王凯<sup>1</sup>, 刘海涛<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学生命科学院, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>中国科学院-水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

**摘要:**以西农薏苡二号为材料, 利用 LI-6400 型便携式光合测定仪, 研究拔节期薏苡光合速率的变化及其环境影响因素。结果表明, 薏苡净光合速率为 10.4~29.8  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 净光合速率、气孔导度和蒸腾速率的日变化均呈单峰曲线, 净光合速率的峰值出现在上午 11:00 时, 中午 11:00~15:00 时的平均净光合速率比上午 9:00~11:00 时和下午 15:00~17:00 时的平均净光合速率高 7.8  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  和 6.6  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。气孔导度和蒸腾速率的峰值均出现在 15:00 时。影响光合速率的主要因素是光照和温度。薏苡光合作用的最适温度为 31~37  $^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度 33%~44%, 光合有效辐射在 470~710  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

**关键词:** 薏苡; 光合速率; 蒸腾速率

中图分类号: Q945.11 文献标识码: A

### Diurnal Changes in Photosynthetic Rate of Job 's- Tears (*Coix lacryma-jobi*) at the Jointing Stage

Shu Zhiming<sup>1</sup>, Liang Zongsuo<sup>1,2</sup>, Sun Qun<sup>1</sup>, Wang Kai<sup>1</sup>, Liu Haitao<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100;

<sup>2</sup>Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** With the help of LI-6400 portable photosynthesis analyzer, we investigated the diurnal changes of photosynthetic rate and environmental effect in Xinong NO.2 Job's-tears (*Coix lacryma-jobi*) at the jointing stage. A net photosynthetic rate (NPR) within the range of 10.4~29.8  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  was observed. The net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate showed a single peak curve pattern with no pronounced decline at noon. A peak value of NPR occurred at 11:00 h and the average photosynthetic rate during 11:00~15:00 h was higher than that of 9:00~11:00 and 15:00~17:00, by 7.8  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  and 6.6  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  respectively. Diurnal maximal value of stomatal conductance and transpiration was seen at 15:00 h. Temperature is the main factor affecting photosynthetic rate. Job 's-tears exhibited an optimal photosynthesis at the temperature of 31~37  $^{\circ}\text{C}$ , relative humidity of 33%~44% and a photosynthetically active radiation of 470~710  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ .

**Key words:** Job 's-tears, Photosynthetic rate, Transpiration rate

薏苡(*Coix lacryma-jobi* L.)<sup>[1]</sup>为禾本科薏苡属一年生草本药食兼用植物, 其主要药用或食用部位为种仁, 含有人体所必需的 17 种氨基酸及 Ca, Cu, Fe, Mg, Mn,

Zn 等多种微量元素, 符合世界卫生组织公布的人体必需微量元素, 是一种高蛋白、中脂肪、中糖的绿色食品, 其营养价值堪称“禾木科作物之王”<sup>[2]</sup>, 被广泛开发

基金项目: 国家自然科学基金“黄土高原森林草原带植被演替过程的水分平衡与调控机理”(90302005); 中国科学院知识创新项目“黄土高原林牧型生态农业建设试验与示范”(kczx01-6)。

第一作者简介: 舒志明, 男, 1965 年出生, 硕士, 从事中药材育种工作。E-mail: shuzhiming2298@yahoo.com.cn 通信地址: 712100 陕西杨陵西农路西北农林科技大学生命科学院。

通讯作者: 梁宗锁, 男, 教授, 博士生导师, 主要从事植物水分生理与中药材规范化栽培。E-mail: liangzs@ms.iswc.ac.cn。

收稿日期: 2006-12-17, 修回日期: 2006-12-24。

成多种功能性食品。其药用价值自古就被列为上品(《神农本草经》),具有健脾利湿、除痹止泻、清热解毒等功效,水提物中含有的中性多葡聚糖混合物及酸性多糖 均有抗体活性<sup>[3-4]</sup>。随着医用和许多保健品的开发利用,市场需求量不断增大,种植遍及全国各个省区。

有关薏苡栽培技术有一些报道,如赵杨景等<sup>[5-6]</sup>研究不同产地薏苡经济性状的比较及氮、磷、钾对薏苡干物质积累和养分含量的影响,刘恩侠等<sup>[7]</sup>研究稀土对薏苡种子活力及产量因素的影响,马尧等<sup>[8]</sup>研究干旱和低温胁迫薏苡幼苗抗逆性,丁家宜<sup>[9]</sup>对薏苡的湿生性进行了研究,而有关薏苡光合作用及其与环境因素的关系还未见报道,本文通过对薏苡光合作用的影响以及影响光合作用的环境因子进行分析,为薏苡高产优质生产提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试品种为西北农林科技大学选育的西农薏苡二号品种,发芽率 98%,2006年4月16日播种,2006年9月7日收获,种植密度 13.5万~15万株/hm<sup>2</sup>,管理水平与一般大田相同。

### 1.2 试验区概况

试验设在西北农林科技大学药用植物园,该区年平均气温 7.8~13.9,最冷的元月平均气温 1.3,最热的7月平均气温 24.8,年大于0积温 5001.9~4484.7,大于10积温 4299.8~3765,平均无霜期约为 173~218d。年平均降水量 410~730mm,平

均日照 1860~2130h,试验区海拔 500~600m,土壤类型为壤土,有较肥厚的腐殖质层,pH值在 6.58~7.0之间,田间最大持水量 16.8%,全氮 0.62g/kg,全磷 1.45g/kg,有机质 1.47g/kg,速效氮 54.6g/kg,速效磷 8.9g/kg。

### 1.2 光合作用日变化相关指标测定

1.2.1 测定指标 叶片净光合速率( $P_n$ ,  $\mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )、蒸腾速率( $T_r$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )、气孔导度( $G_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ ,  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol}$ )、光合有效辐射 (PAR,  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )、空气相对湿度 (RH, %)和空气温度( $T$ , )等。水分利用效率[WUE ( $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$ )] = 净光合速率 / 蒸腾速率。

1.2.2 测定方法 利用 LI-6400 型便携式光合测定仪,于薏苡拔节期,选择晴朗天气,从 9:00~17:00 测定主茎(从上往下数)第 2 片完全展开叶,每隔 2 h 测量 1 次,每次测量固定的 6 株同一位置的叶片。

## 2 结果与分析

### 2.1 薏苡净光合速率日变化特征

薏苡在全光照条件下净光合速率日变化呈单峰曲线(图 1),上午 9:00 时净光合速率最小,为一天中最低值  $10.4 \mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,此时光合有效辐射为  $770 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;上午 9:00~11:00 随着光照强度的增加,光合有效辐射增加,净光合速率快速增加,11:00 时达最大  $29.8 \mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,11:00~15:00 时净光合速率和光合有效辐射开始缓慢下降,从 15:00~17:00 迅速下降,下午 17:00 时净光合速率下降到  $17.5 \mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,此时的光合有效辐射为  $350 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。11:00~15:00 时的光合速率比上午 9:

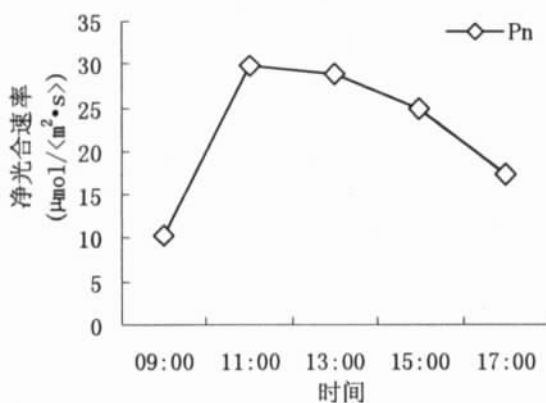


图 1 净光合速率日变化

00~11:00 时 ( $21.1 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) 和下午 15:00~17:00 时 ( $21.3 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) 高  $7.8 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  和  $6.6 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。薏苡的光合“午休”现象发生在上午 11:00 时,光合速率和光合有效辐射几乎同步(图 1, 2)。

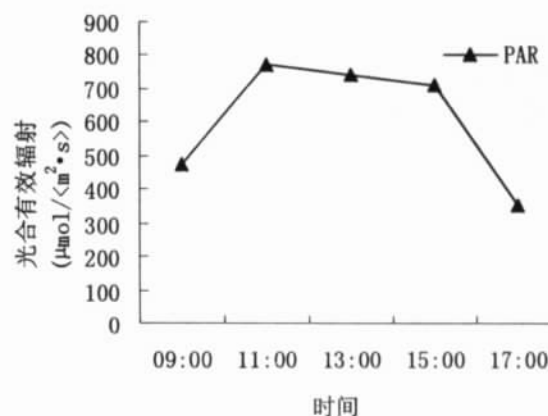


图 2 光合有效辐射日变化

### 2.2 蒸腾速率的日变化特征

薏苡蒸腾速率日变化呈单峰型曲线(图 3),最大值出现在 15:00 时,为  $16.6 \text{mmol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。蒸腾速率在 13:00 时以前表现为缓慢上升,13:00 时以后表现为

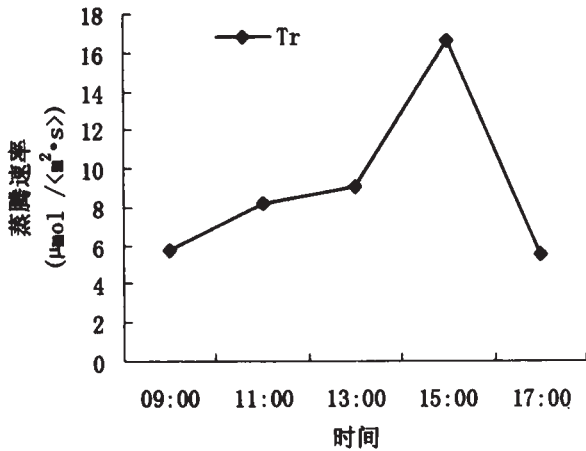


图3 蒸腾速率日变化

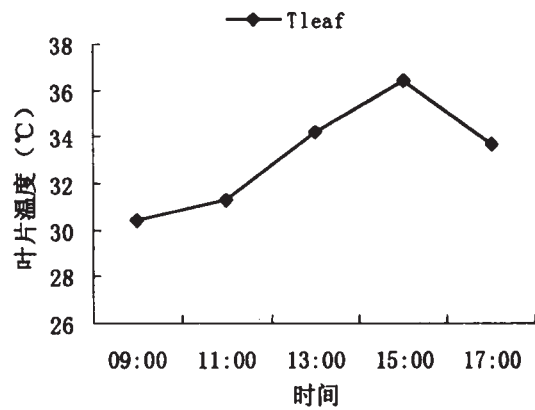


图4 叶片温度日变化

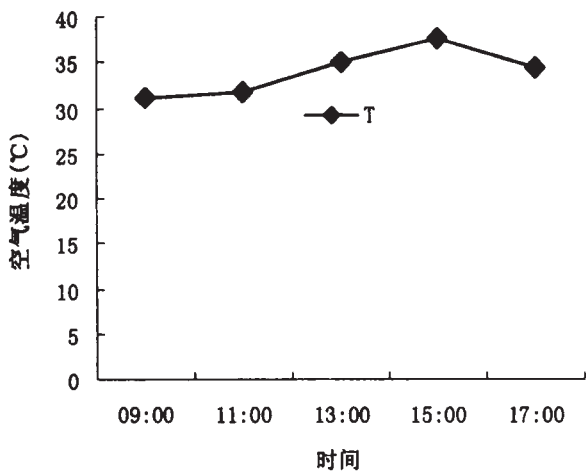


图5 空气温度日变化

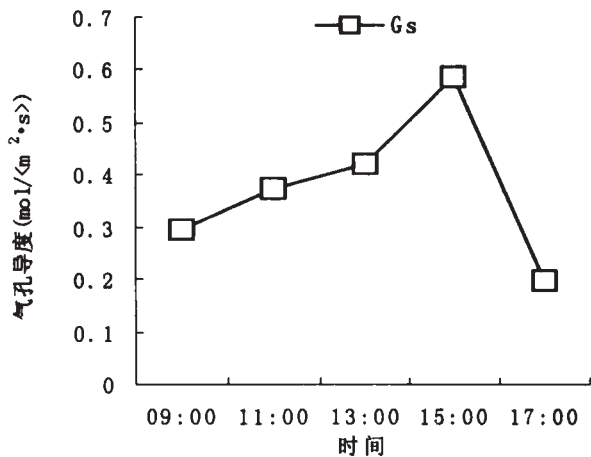


图6 气孔导度日变化

快速上升,到 15:00 时达最大,以后表现快速下降,这种变化趋势与叶片(Tleaf)温度(图 4)和空气温度(图 5)的变化趋势基本相同。蒸腾速率这种变化趋势可能是由于上午外界温度较低,Tr 较低,随着外界温度的升高,水分在气孔下腔的汽化速度加快,使蒸腾速率也随之加快,到 15:00 时,外界温度和叶片温度达最高值,此时 Tr 也达到最大。

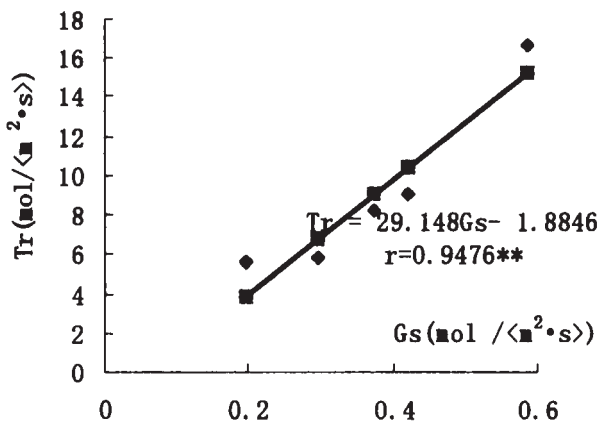


图7 气孔导度与蒸腾速率的关系

### 2.3 气孔导度的日变化特征

薏苡气孔导度(Gs)的日变化(图 6)与蒸腾速率(Tr)的日变化特征相同(图 3),Gs 最大为 0.587molH<sub>2</sub>O/(m<sup>2</sup>·s),下午 17:00 时最小,为 0.197mol H<sub>2</sub>O/(m<sup>2</sup>·s)。Gs 与 Tr 呈极显著正相关(图 7  $r=0.9476^{**}$ )。气孔导度不但受空气温度、水分等的影响,同时与光照强度有很大关系,适宜的光强有利于气孔开张,上午温度较低,水分处于收缩状态,蒸腾速率小,气孔导度也小,午后温度升高,气孔开度增加,薏苡体内水分变成自由水,气孔阻力变小,气孔导度和蒸腾速率都增大,到 15:00 时二者达最高值。

### 2.4 净光合速率和气孔导度之间的关系

光合速率和气孔导度在不同时段表现不同。光合速率和气孔导度在 9:00~11:00 时和 15:00~17:00 时呈显著正相关(图 8-A  $r=0.8850^{**}$ , 图 8-C  $r=0.9512^{**}$ ),11:00~15:00 时呈极显著负相关(图 8-B,  $r=-0.7913^{**}$ ),说明这一时段的光合速率主要受气孔导度的影响,当气孔导度大于 0.374mol/(m<sup>2</sup>·s)时光合速率不再增加。

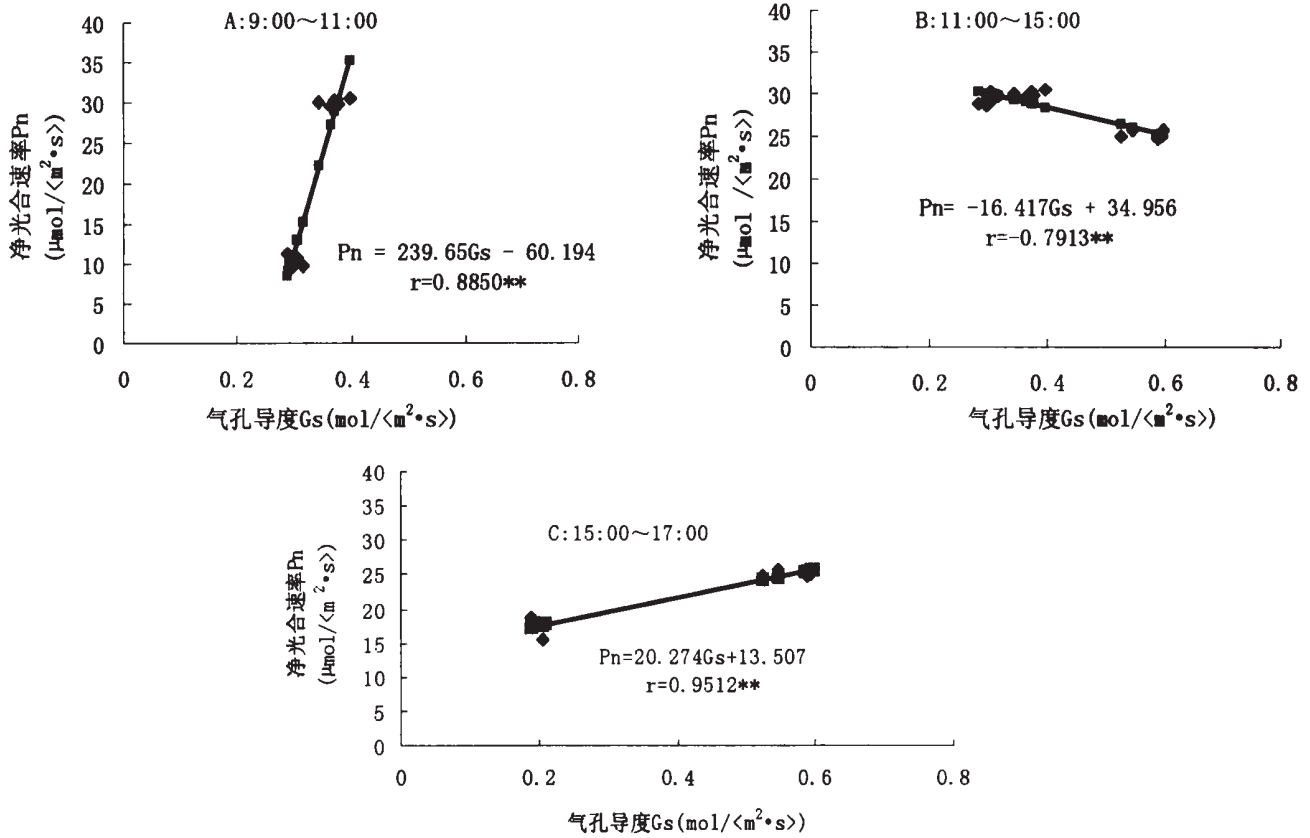


图8 光合速率和气孔导度日变化关系

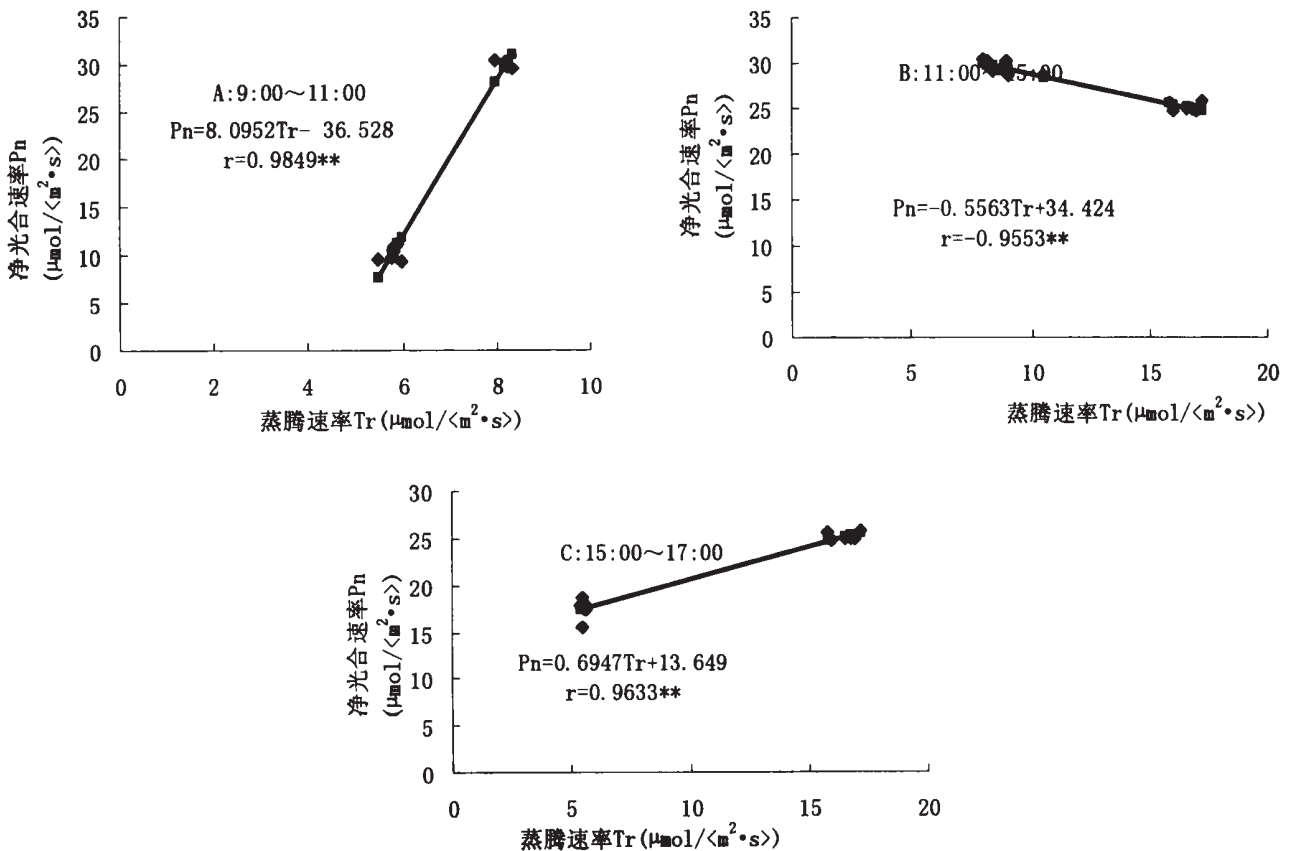


图9 光合速率和蒸腾速率日变化关系

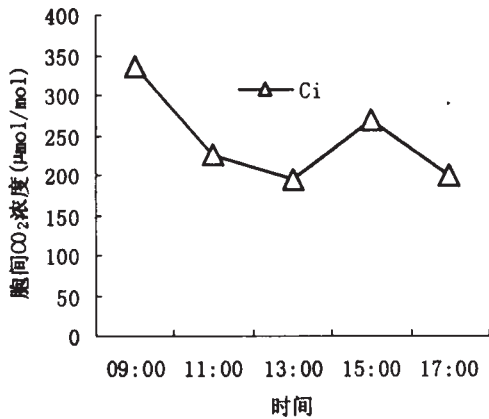


图 10 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度日变化

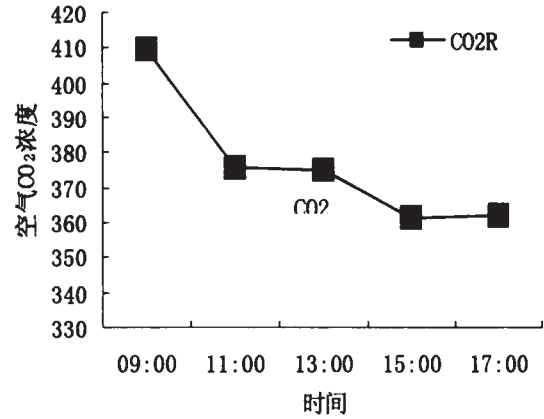


图 11 空气 CO<sub>2</sub> 浓度日变化

2.5 净光合速率和蒸腾速率之间的关系

光合速率和蒸腾速率在 9:00~11:00 时和 15:00~17:00 时呈显著正相关(图 9-A,  $r=0.9849^{**}$ , 图 9-C,  $r=0.9633^{**}$ ), 11:00~15:00 时呈显著负相关(图 9-B,  $r=-0.9533^{**}$ ), 说明这一时段光合速率主要受蒸腾速率影响, 当蒸腾速率大于  $0.8\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  时光合速率不再

增加。

2.6 光合速率与环境因素的关系

2.6.1 光合速率与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的关系 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度日变化(图 10)为上午 9:00 时最高  $337.0\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ , 以后则降低, 即表现为高~低~稍高~低的变化趋势。空气中 CO<sub>2</sub> 浓度也表现上午 9:00 时最高

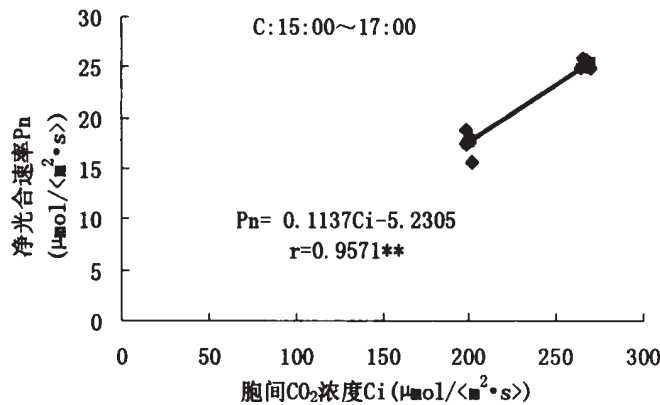
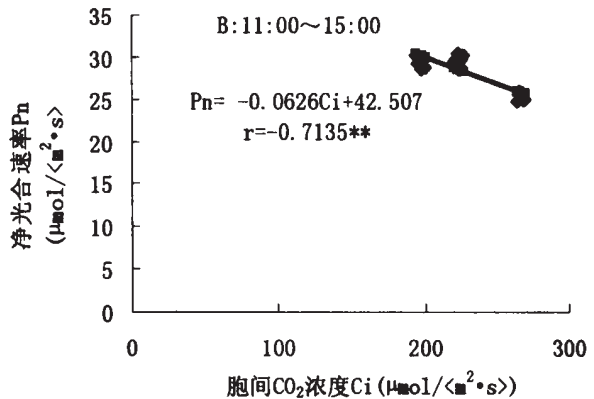
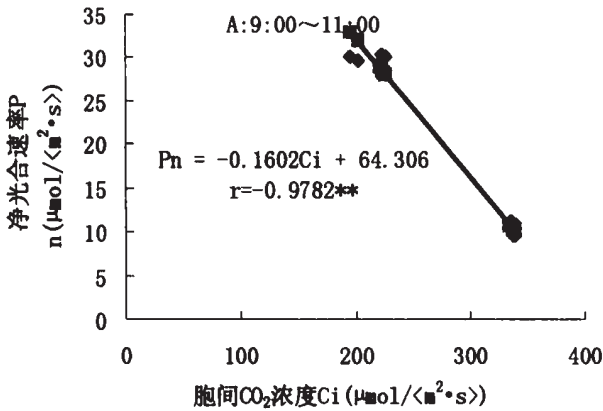


图 12 光合速率与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度日变化关系

$409.56\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ , 以后一直向较低趋势变化(图 11)。光合速率与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度在 9:00~11:00 时(图 12-A)和 11:00~15:00 时(图 12-B)表现为极显著负相关( $r=-0.9782^{**}$  和  $r=-0.7153^{**}$ ), 在 15:00~17:00 表现为极

显著正相关(图 12-C,  $r=0.9571^{**}$ )。净光合速率较高时, 固定较多的 CO<sub>2</sub>, 引起胞间 CO<sub>2</sub> 浓度下降, 当胞间 CO<sub>2</sub> 浓度过低时, 会造成 CO<sub>2</sub> 的亏缺, 使净光合速率难以进一步提高, 到 15:00 时虽然胞间 CO<sub>2</sub> 浓度升高(图

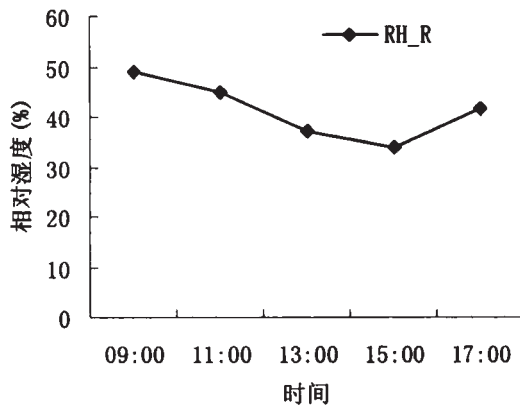


图 13 相对湿度日变化

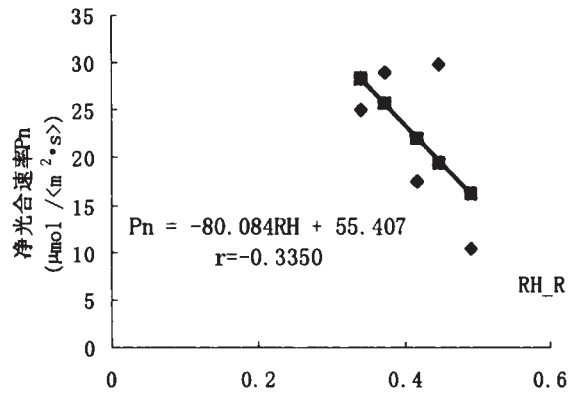


图 14 相对湿度和净光合速率的关系

10),但由于光合有效辐射降低(图 2) 空气温度(图 5)和叶片温度(图 4)升高,净光合速率仍表现较低的状态,说明此时光合速率的影响因子主要是空气温度或叶片温度,CO<sub>2</sub>浓度可能已变成次要因素。

2.6.2 光合速率与相对湿度的关系 相对湿度的日变化为 15:00 时最低 33.93%(图 13),上午和下午较高,在一天中变化幅度不大,主要是随着光照的增强和空气温度升高,相对湿度出现下降。相关性分析表明,空气相对

效辐射最大( $770 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ),温度适中( $31.9^\circ\text{C}$ ),此时净光合速率最大( $29.8 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ),水分利用率最大( $3.63 \mu\text{molCO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$ );下午 15:00,温度最高( $37.7^\circ\text{C}$ ),有效光合辐射较大( $710 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )。

### 3 结论与讨论

光合作用是植物十分复杂的生理过程,叶片净光合速率与自身因素如叶绿素含量、叶片厚度、叶片成熟度等密切相关,同时还会受光照强度、气温、空气相对湿度等影响。研究结果表明,在自然晴天条件下,薏苡净光合速率、蒸腾速率、气孔导度日变化均呈单峰曲线,上午 11:00 时净光合速率达最大值,下午呈逐渐下降的变化,光合速率最大时间在 11:00~15:00 时,此时温度约  $31\sim 37^\circ\text{C}$ 。温度不仅影响植物叶片的光合作用能力,也影响其光能利用率<sup>[10-14]</sup>,下午空气温度高于上午,从 11:00~15:00 时,平均光合速率较大,光合有效辐射也较大,15:00 时以后,光合速率迅速下降,可能是产生了光抑制现象。从光合速率和空气温度日变化看,薏苡光合作用的最适温度在  $31\sim 37^\circ\text{C}$ ,光合有效辐射在  $470\sim 710 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,相对湿度 33%~44%。影响光合速率的主要环境因素是温度和光照。温度与蒸腾速率、气孔导度均呈极显著正相关,与相对湿度极显著负相关。

关于净光合速率和气孔导度、蒸腾速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度之间的关系各学者持不同的观点。张美善等<sup>[15]</sup>报道,西洋参叶片净光合速率与气孔导度和蒸腾速率之间呈正相关。翁晓燕等<sup>[16]</sup>研究证明,水稻叶片光合速率与气孔导度的变化一致,呈正相关,与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度呈负相关,这与本试验薏苡的结果相近。陶汉之<sup>[17]</sup>对茶树的光合作用的研究发现,净光合速率和气孔导度的变化没有平行关系,不呈明显正相关。笔者通过对薏苡净光合速率日变化的研究结果表明,其净光合速率与

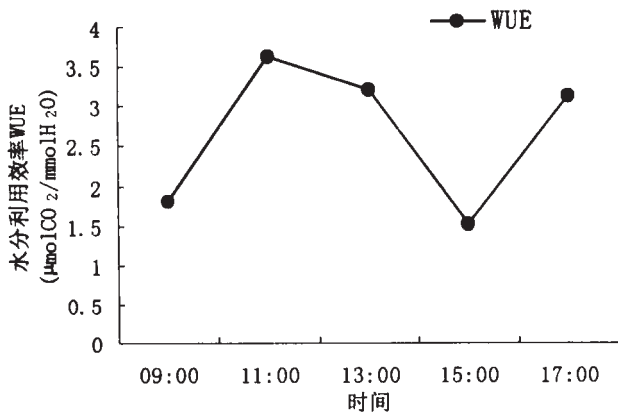


图 15 水分利用效率日变化

湿度与净光合速率为负相关,但相关性不显著(图 14,  $r=-0.3350$ ),光合作用最大时的相对湿度为 33%~44%。

### 2.7 水分利用效率日变化特征

水分利用效率(WUE)是光合和蒸腾特性的综合反映,表明消耗单位水量所产生的同化物量,可以反映薏苡对水分的利用水平。从 WUE 日变化(图 15)可以看出,薏苡对水分的利用效率表现为“低~高~低~稍高”的状态。既上午 9:00 时温度较低( $31.09^\circ\text{C}$ ),光合有效辐射( $472 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )较低,水分利用效率也较低( $1.79 \mu\text{molCO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$ ),中午 11:00,光合有

气孔导度之间在上午和下午温度较低时呈显著的正相关,而在中午温度较高时呈显著的负相关,与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度呈负相关,这与翁晓燕等<sup>[16]</sup>对水稻的研究结果一致。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国卫生部药典委员会. 中华人民共和国药典(2005版,一部).北京:化学工业出版社,2005:260-261.
- [2] 杨继祥.药用植物栽培学.北京:农业出版社,1993:284-292.
- [3] 谭荫初.薏苡的营养与高产栽培.农村百事通,2001,(10):26-27.
- [4] 钱延春.薏苡的研究现状及开发前景.特产研究,1998,4:59-61.
- [5] 赵杨景,杨峻山,张聿梅,等.不同产地薏苡经济性状和质量的比较.中国中药杂志,2002,29(9):694-696.
- [6] 赵杨景,陈震.氮、磷、钾营养元素对薏苡干物质积累和养分含量的影响.中国中药杂志,1992,17(7):400-403.
- [7] 刘恩侠,栗淑媛,陆艳蒙,等.稀土对薏苡种子活力及产量因素的影响.内蒙古师大学报(自然科学汉文版),1995,(2):68-71.
- [8] 马尧,杨国会,王春兰,等.在干旱和低温胁迫下薏苡幼苗抗逆性研究.农业与技术,2000,20(5):41-42,45.
- [9] 丁家宜,张思汉.薏苡湿生习性的试验论证.作物学报,1981,7(2):117-121.
- [10] 张治安,李亚东,徐晨,等.4种不同类型越桔叶片光合作用温度特性的比较研究.吉林农业大学学报,1999,21(4):16-19.
- [11] 李亚东,张治安,吴林.红豆越桔光合作用特性的研究.园艺学报,1996,23(1):86-88.
- [12] 徐克章,王英典,徐惠风,等.高粱叶片光合作用特性的研究.吉林农业大学学报,1999,21(3):1-6.
- [13] Y G Li, G M Bijiann, S L Niu, et al. Gas exchange and water use efficiency of three native tree species in Hunshandak Sandland of Chinas. Photosynthetica,2003,41(2):227~232.
- [14] Ma C C, Gao Y B, Guo H Y, et al. Photosynthesis,transpiration, and water use efficiency of Caranana microphylla, C. intermedia, and C. korshinskii .Photosynthetica, 2004,42(1):65~70.
- [15] 张美善,徐克章.西洋参叶片光合日变化与内生节奏的关系.吉林农业大学学报,2003,25(6):595-597.
- [16] 翁晓燕,蒋德安,陆庆,等.影响水稻光合日变化因素的分析.中国水稻科学,1998,12(2):105-108.
- [17] 陶汉之.茶树光合日变化的研究.作物学报,1991,17(6):444-452.

(责任编辑 秦守亮)